ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1901 г. ТОМЪ 2 No. 2

Скала электромагнитныхъ волнъ въ эфирѣ

П. Н. Лебедева.

Изслѣдователь электромагнитныхъ колебаній располагаетъ въ настоящее время очень большимъ интерваломъ волнъ, и, можетъ быть, не лишнее составить таблицу такихъ колебаній, которыми мы въ настоящее время можемъ пользоваться для изслѣдованія вѣсомой матеріи (діэлектрическихъ постоянныхъ, скоростей распространенія, коэффиціентовъ поглощенія и т. д.).

Скорость распространенія электромагнитныхъ возмущеній въ пустотѣ (а также съ очень большимъ приближеніемъ и въ воздухѣ), какъ то показываютъ опыты, есть величина постоянная, независящая отъ періода колебаній и равная скорости распространенія свѣта, что составляетъ 300000 klm/sec.

Между періодомъ одного колебанія τ и длиною волны λ существуетъ простое соотношеніе

$$\frac{\lambda}{\tau} = v = 300000 \text{ klm. sec.}^{-1}$$

Когда заданъ періодъ колебанія, мы можемъ вычислить, какова была бы длина соотвѣтствующей волны, свободно распространяющейся въ эфирѣ, и наоборотъ; измѣряя длину волны, мы можемъ вычислить періодъ ея колебанія.

По способу возбужденія этихъ колебаній мы можемъ ихъ раздѣлить на нѣсколько классовъ: *принужденныя колебанія*, получаемыя отъ магнитоэлектрическихъ машинъ, и *свободныя колебанія* заряженныхъ системъ (мы разсмотримъ преимущественно искровой разрядъ)—ими исчерпываются способы полученія колеба-

ній произвольной длины волны. Далѣе слѣдуютъ *излученіе* тѣлъ (Luminiscenz) во-первыхъ подъ вліяніемъ тепла, *термическое лучеиспусканіе* (Thermoluminiscenz), а потомъ лучеиспусканіе отъ другихъ причинъ (электрическихъ разрядовъ, фосфоресценція и т. д.).

Вскорѣ послѣ того, какъ Фарадей (1832) открылъ явленія индукціи, конструкторомъ физическихъ приборовъ Пикси (Pixii, 1837) была построена магнитоэлектрическая машина—приборъ для полученія принужденныхъ электрическихъ колебаній: эта первая магнитоэлектрическая машина при возможно быстромъ вращеніи давала 20 полныхъ перемѣнъ тока, т. е. имѣла періодъ $\tau = 0{\cdot}05$ sec., чему соотвѣтствовала длина волны $\lambda = 15000$ klm.

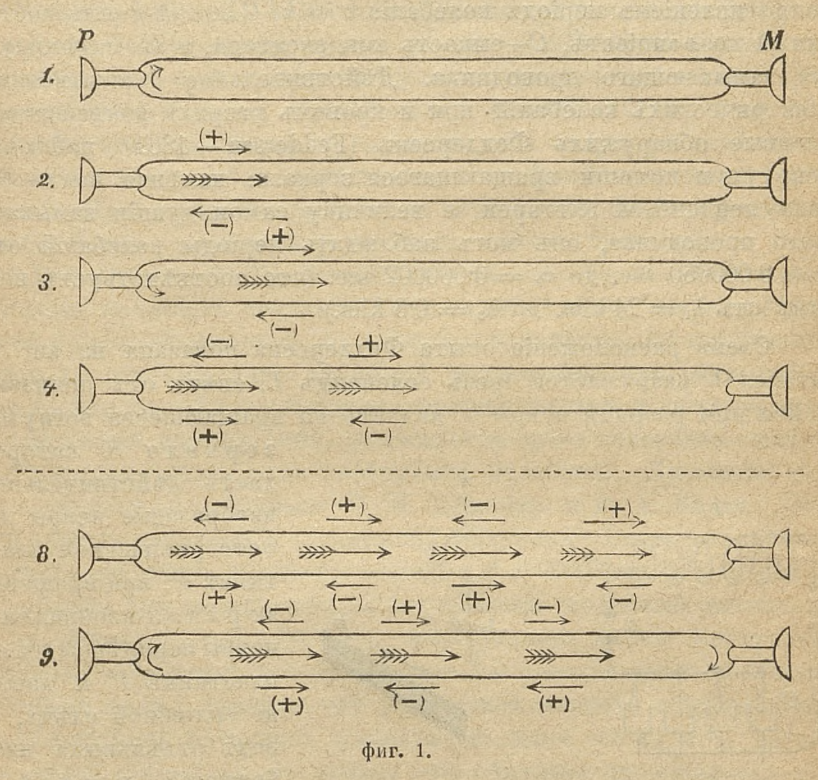
Современная электротехника выработала типъ альтернаторовъ съ періодомъ въ $\tau = 0{\cdot}02$ sec. (что соотвѣтствуетъ длинѣ волны въ 6000 klm.).

Обыкновенный телефонъ мы можемъ разсматривать также, какъ магнитоэлектрическую машину, періодъ которой обусловливается періодомъ падающаго на нее звука. Телефонъ еще очень отчетливо передаетъ звуки, періодъ которыхъ $\tau = 0{\cdot}001$ и выше (длина соотвѣтствующей электромагнитной волны $\lambda = 300$ klm. и меньше); на телефонной линіи Петербургъ-Москва укладываются двѣ такихъ волны: мы имѣемъ здѣсь случай, когда въ замкнутомъ металлическомъ проводникѣ (фиг. 1) *одновременно* существуютъ электрическіе токи, имѣющіе *разное направленіе* (въ нашемъ случаѣ для $\lambda = 300$ klm. — четыре участка 8 и 9). Чтобы легче разобраться на фиг. 1, явленіе представлено съ перваго момента возникновенія колебаній въ телефонѣ P (1) до установившагося состоянія (8) и (9): заряды (+) и (—) двигаются *въ одномъ направленіи*—по направленію разговора (т. е. отъ Петербурга къ Москвѣ или обратно), причемъ они перемѣщаются со скоростью свѣта [1]). За „направленіе электрическаго тока" принято считать направленіе движенія (+) заряда, а потому движеніе (—) заряда въ томъ же направленіи соотвѣтствуетъ (напр. по своему дѣйствію на магнитную стрѣлку) „току" въ противоположномъ направленіи, что и указано стрѣлками (→).

---

[1]) Звуковая волна, распространяясь по говорной трубѣ, приходила бы изъ Петербурга въ Москву только чрезъ полчаса, и вести разговоръ при этихъ обстоятельствахъ было бы болѣе, чѣмъ неудобно, тогда какъ при телефонѣ электромагнитная волна запаздываетъ лишь на неуловимыя для нашего уха двѣ тысячныя доли секунды.

Для полученія еще болѣе быстрыхъ колебаній Юингъ (Ewing, 1891) построилъ динамомашину съ очень большимъ числомъ полюсовъ на окружности и для полученія возможно большаго числа оборотовъ въ секунду соединилъ ее съ паровою турбиною; его машина давала періодъ $\tau = 0{\cdot}0001$ sec. (что соотвѣтствуетъ $\lambda = 30$ klm.). Тесла (Tesla) построилъ альтернаторъ съ еще меньшимъ періодомъ $\tau = 0{\cdot}00005$ sec. ($\lambda = 15$ klm.). Эти двѣ машины мы покуда



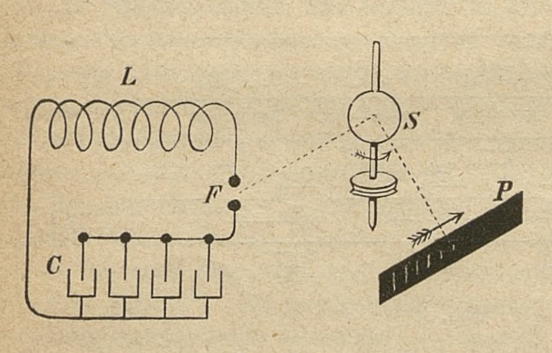
фиг. 1.

можемъ разсматривать какъ предѣлъ, съ которымъ приходится считаться современной машиностроительной техникѣ.

Къ типу приборовъ, дающихъ принужденныя колебанія, мы можемъ еще причислить и вращающійся коммутаторъ Физо, который произвольное число разъ въ секунду можетъ посылать токъ отъ гальванической батареи въ томъ или въ другомъ направленіи. Предѣлъ числа перемѣнъ въ секунду обусловливается тѣми же (даже нѣсколько меньшими) техническими трудностями, что и конструкція альтернатора.

Несравненно болѣе широкій интервалъ электромагнитныхъ колебаній даютъ *свободныя колебанія* разряжающейся системы проводниковъ. На возможность явленія электромагнитныхъ колебаній при разрядѣ конденсатора чрезъ проводникъ съ извѣстною самоиндукціею впервые указалъ Гельмгольцъ (1847). В. Томсонъ (нынѣ лордъ Кельвинъ) далъ полную теорію явленія (1853 г.): онъ нашелъ, что для проводниковъ съ малымъ гальваническимъ сопротивленіемъ періодъ колебанія $\tau = k\sqrt{CL}$, гдѣ k есть постоянный коэффиціентъ, C—емкость конденсатора, а L—самоиндукція замыкающаго проводника. Дѣйствительное существованіе электрическихъ колебаній при искровомъ разрядѣ конденсатора впервые обнаружилъ Феддерсенъ (Feddersen — 1861), наблюдая искру при помощи вращающагося зеркала: измѣняя число банокъ лейденской баттареи и величину самоиндукціи замыкающаго проводника, онъ могъ наблюдать періоды колебаній отъ $\tau_1 = 0{\cdot}000080$ sec. до $\tau_2 = 0{\cdot}000002$ sec. (что соотвѣтствуетъ волнамъ отъ $\lambda_1 = 24$ klm. до $\lambda_2 = 0{\cdot}6$ klm.).

Схема расположенія опыта Феддерсена показана на фиг. 2: батарея C разряжается чрезъ соленоидъ L; свѣтъ отъ появляющейся при разрядѣ искры F падаетъ на вращающееся вогнутое зеркало S, которое даетъ дѣйствительное изображеніе искры на фотографической пластинкѣ P: при вращеніи зеркала изображеніе искры перемѣщается по пластинкѣ P и даетъ не сплошной слѣдъ, а рядъ отдѣльныхъ изображеній, соотвѣтственно числу перемѣнъ направленія тока въ цѣпи. Зная разстояніе пластинки отъ зеркала, а также число его оборотовъ въ секунду и измѣряя разстояніе изображеній, легко опредѣлить періодъ колебанія [1]).



фиг. 2.

[1]) Чтобы два изображенія, слѣдующія другъ за другомъ чрезъ одну милліонную долю секунды, имѣли на фотографической пластинкѣ разстояніе въ *1 mm.*, необходимо, чтобы скорость движенія изображенія была *1 klm. въ сек.*; при раз-

Фотографія показываетъ, что подобная система совершаетъ 15—20 замѣтныхъ колебаній съ постепенно убывающею амплитудою

Измѣняя емкость и самоиндукцію, мы можемъ получать системы съ любымъ періодомъ колебанія: такъ Лоджъ (Lodge—1888), разряжая очень большую батарею чрезъ соленоидъ съ весьма большимъ числомъ оборотовъ проволоки, получалъ искру, дававшую музыкальный звукъ; періодъ колебанія системы былъ $\tau = 0{\cdot}002$ sec. (что соотвѣтствуетъ $\lambda = 600$ klm.). Уменьшая самоиндукцію цѣпи и емкость конденсатора, мы получаемъ колебанія съ меньшимъ періодомъ, но тутъ скоро наступаетъ предѣлъ наблюденія при помощи вращающагося зеркала: для $\tau < 0{\cdot}0000002$ sec. (что соотвѣтствуетъ $\lambda < 60$ m.) накаленный газъ искры не успѣваетъ охлаждаться и раздѣленіе отдѣльныхъ колебаній становится смытымъ [1]). Измѣрять непосредственно періодъ еще болѣе короткихъ колебаній мы въ настоящее время не имѣемъ средствъ.

Гельмгольцъ (1867) указалъ другой способъ получать электрическія колебанія: соединяя вторичную обмотку спирали Румкорфа съ конденсаторомъ (съ лейденскою банкою), мы получаемъ такую же систему, какъ въ опытѣ Феддерсена: при размыканіи тока въ первичной цѣпи конденсаторъ заряжается, а потомъ, предоставленный самому себѣ, разряжается чрезъ соленоидъ спирали Румкорфа, давая рядъ свободныхъ колебаній. Колебанія такихъ системъ изслѣдовали Н. Н. Шиллеръ и Р. А. Колли. Самый методъ наблюденій („падающій маятникъ" Гельмгольца) позволяетъ наблюдать колебанія періода $\tau > 0{\cdot}00003$ sec. ($\lambda > 10$ klm.).

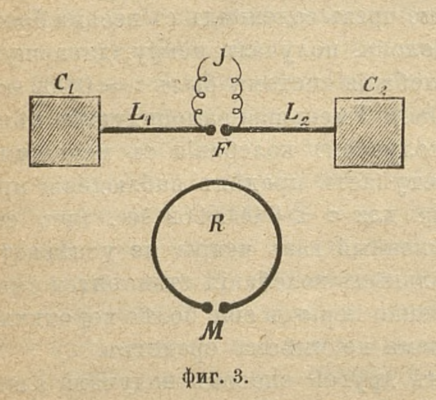
Новая эра въ изученіи электрическихъ колебаній начинается съ работъ Герца (1887 г.). Онъ задался цѣлью построить приборъ—*вибраторъ*, который давалъ бы электрическія колебанія возможно малаго періода: онъ уменьшилъ емкость конденсатора насколько было возможно, удаливъ обкладки его C_1 и C_2 другъ отъ друга (фиг. 3) и соединивъ эти обкладки проводникомъ съ возможно малою самоиндукціею—прямымъ, толстымъ металлическимъ прутомъ L_1L_2 (съ искровымъ промежуткомъ F посрединѣ); чтобы удобно заряжать эти обкладки, онѣ были соединены при помощи проволокъ J съ индукторіемъ: при каждомъ колебаніи молоточка индукторія проводники C_1 и C_2 разряжаются чрезъ

стояніи зеркала отъ пластинки въ *1 m*, число оборотовъ должно быть около 80 въ секунду.

[1]) См. *Décombe*. Arch. de Genève, 1898.

искровой промежутокъ F и вибраторъ даетъ серію затухающихъ колебаній.

Для обнаруженія колебаній вибратора Герцъ воспользовался явленіемъ электродинамической индукціи: въ проволокѣ R, періодъ собственнаго колебанія которой равенъ періоду вибратора, находящейся слѣдовательно въ резонансѣ съ послѣднимъ, а потому называемой *резонаторомъ*, въ этой проволокѣ наведенная электродвижущая сила достаточно велика, чтобы образовать въ перерывѣ M искру; длина искры M можетъ служить мѣриломъ возбужденія резонатора [1].



фиг. 3.

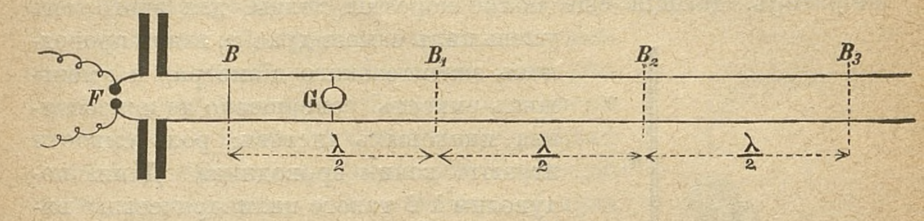
Не имѣя возможности опредѣлять періодъ колебанія, Герцъ былъ первымъ (1888), который обратился къ измѣреніямъ длины волны: заставляя волны, возбужденныя вибраторомъ, итти вдоль длинной проволоки и отражаться отъ конца ея или же свободно распространяться въ пространствѣ и отражаться отъ большаго плоскаго металлическаго зеркала, Герцъ получалъ *стоячія волны* и, изслѣдуя резонаторомъ ихъ узлы и пучности, онъ измѣрялъ разстояніе между узлами и опредѣлялъ λ. Для своего перваго вибратора Герцъ нашелъ $\lambda = 9$ m.

Для изслѣдованія стоячихъ волнъ въ проволокахъ Лехеръ (Lecher — 1889) предложилъ весьма удобную систему (фиг. 4): двѣ параллельныя мѣдныя проволоки оканчиваются конденсаторами между двумя обкладками которыхъ, въ искровомъ промежуткѣ F происходитъ разрядъ (конденсаторы заряжаются индукторіемъ). Система, состоящая изъ конденсаторовъ (цинковыхъ листовъ), проволокъ и замыкающей проволоки („мостика") B, приходитъ въ

---

[1]) Впослѣдствіи Тесла (1892) обнаружилъ резонансъ для медленныхъ колебаній: въ качествѣ первичной катушки индуктивнаго прибора онъ воспользовался соленоидомъ, по которому проходитъ разрядъ лейденской батареи; вторичная катушка этого индуктивнаго прибора состоитъ изъ соленоида съ гораздо бóльшимъ числомъ оборотовъ (но безъ добавочной лейденской батареи). Приборъ Тесла есть тотъ же снарядъ Румкорфа, первичная обмотка котораго питается перемѣннымъ токомъ колебательнаго разряда.

колебаніе, причемъ часть этихъ колебаній отвѣтвляется отъ мостика и идетъ по проволокамъ, въ чемъ насъ убѣждаетъ свѣченіе гейслеровой трубочки *G*, помѣщенной поперекъ этихъ проволокъ.



фиг. 4.

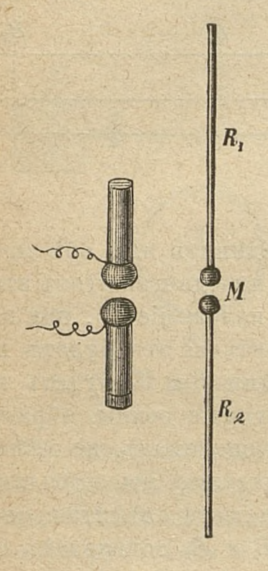
локъ. Если взять второй „мостикъ" и соединить имъ обѣ проволоки, то гейслерова трубочка потухнетъ; передвигая этотъ второй мостикъ, мы легко находимъ для него положеніе B_1, при которомъ трубка начинаетъ опять ярко свѣтиться: это будетъ въ томъ случаѣ, когда система между мостиками *B* и B_1 будетъ въ *резонансъ* съ возбуждающею системою, и стоячія волны, образующіяся въ этихъ связанныхъ между собою системахъ, не мѣшаютъ другъ другу. Передвигая мостикъ дальше, мы находимъ второе положеніе B_2, при которомъ трубка тоже свѣтится: первый обертонъ системы между мостиками *B* и B_2 совпадаетъ съ періодомъ возбуждающаго колебанія и т. д.; такихъ полуволнъ можно обнаружить до двадцати и болѣе. Размѣръ волны обусловливается *длиною* проволоки (онъ *не* зависитъ отъ разстоянія между проволоками и отъ ихъ діаметра): такъ Троубриджъ и Дюанъ (Trowbridge and Duane—1895) пользовались системою, которая давала $\lambda = 114$ m., т. е. такія длины волнъ, для которыхъ возможно было вращающимся зеркаломъ опредѣлить періодъ колебанія разрядовъ; измѣренный періодъ колебанія былъ $\tau = 0{\cdot}375$ милліонныхъ долей секунды. Одновременныя наблюденія длины волны и періода позволяютъ намъ вычислить скорость распространенія волнъ вдоль проволокъ: опыты показываютъ, что она равна 300000 klm/sec.

Постепенно уменьшая размѣры системы Лехера, легко ее приспособить и для короткихъ волнъ: можно обнаружить стоячія волны въ проволокахъ при $\lambda = 4$ cm. [1]).

Наибольшій интересъ представляютъ опыты Герца съ распространеніемъ электромагнитныхъ волнъ въ свободномъ пространствѣ: для полученія явленій отраженія и преломленія въ той

[1]) *Marx*, Wied. Ann. Bd. 66 (1898).

формѣ, какъ мы ихъ наблюдаемъ для свѣтовыхъ лучей, существенно необходимо, чтобы размѣры зеркалъ и призмъ были велики сравнительно съ длиною волны. Герцъ построилъ (1889) вибраторъ, дающій еще болѣе короткія волны; для этого онъ уменьшилъ самоиндукцію, взявъ проводникъ значительнаго діаметра, и уменьшилъ емкость, совершенно не присоединяя цинковыхъ листовъ: роль емкости играютъ концы проводника. Длина полуволны $\lambda/2$ такого цилиндрическаго вибратора равна его длинѣ.



фиг. 5.

Резонаторами въ этихъ опытахъ были два прямолинейныхъ проводника R_1 и R_2 (фиг. 5); длина каждаго изъ нихъ равнялась полуволнѣ: при одновременномъ возбужденіи этихъ проводниковъ сближенные концы ихъ получаютъ заряды разнаго знака и въ M проскакиваетъ искра, служащая показателемъ возбужденія резонатора.

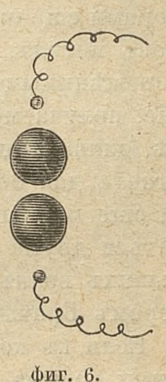
Для волнъ въ $\lambda = 60$ cm. Герцъ построилъ два параболическихъ металлическихъ зеркала (въ 2 m. высотою): вибраторъ, помѣщенный въ фокусной линіи перваго зеркала, давалъ пучокъ электромагнитныхъ лучей, которые, попадая на второе вогнутое зеркало, собирались въ его фокусной линіи и возбуждали помѣщенные тамъ резонаторы.

Герцъ показалъ, что пучокъ электромагнитныхъ лучей поляризованъ и что онъ отражается отъ плоскаго зеркала и преломляется въ призмѣ по законамъ оптики, и что свойства электромагнитныхъ колебаній тождественны со свойствами свѣтовыхъ колебаній.

Электромагнитная теорія свѣта Максвелля, выработанная имъ въ 1863 г. и до 1889 бывшая чѣмъ-то ненужнымъ, сложнымъ и никому неинтереснымъ, сразу стала единственною возможною для насъ теоріею свѣта. Во всей исторіи физики, можетъ быть, нѣтъ болѣе поучительнаго примѣра, что теорія слишкомъ далеко ушедшая отъ опыта, даже высказанная такимъ всѣми признаннымъ геніемъ, какъ Максвелль, все-таки оставалась безплодною и недоступною не только для заурядныхъ, но и для передовыхъ уче-

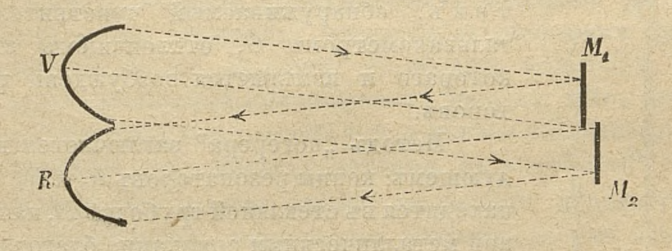
ныхъ, покуда опытъ не далъ теоріи естественной, всѣми легко схватываемой простоты и наглядности.

Риги (Righi—1895) продолжалъ работы Герца; онъ еще уменьшилъ размѣры вибратора: его вибраторъ (фиг. 6) состоялъ изъ двухъ шаровъ, къ которымъ зарядъ подводился двумя искрами отъ индукторія или отъ электрической машины. Пользуясь волнами въ $\lambda = 10$ cm. и приборами соотвѣтствующихъ размѣровъ, Риги воспроизвелъ всѣ оптическіе опыты до элиптической поляризаціи луча включительно.



фиг. 6.

Для опредѣленія длины волны свободно распространяющагося пучка электромагнитныхъ колебаній пользуются интерференціоннымъ методомъ, указаннымъ Больцманомъ (Boltzmann—1890): пучокъ лучей, выходящій изъ параболическаго зеркала *V* (фиг. 7), частью отражается отъ плоскаго зеркала M_1, частью отъ такого же зеркала M_2 и падаетъ на второе параболическое зеркало *R*, въ которомъ находится резонаторъ: если мы начнемъ передвигать зеркало M_2 и увеличивать *путь* одной половины пучка, то можемъ подобрать для нихъ такую разницу путей, при которой вторая по-



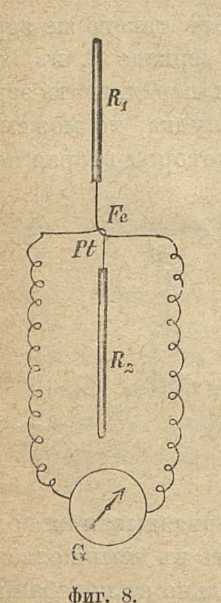
фиг. 7.

ловина пучка будетъ подходить къ резонатору, опаздывая на полволны; вторая половина пучка будетъ возбуждать въ немъ колебанія въ противоположномъ направленіи сравнительно съ колебаніями, возбуждаемыми первою половиною; такія противоположныя колебанія, складываясь, взаимно уничтожаются: резонаторъ не будетъ возбуждаться. Увеличивая разность путей до цѣлой волны, мы увидимъ, что вторая половина пучка будетъ дѣйствовать согласно съ первою, увеличивая возбужденіе резонатора: разни-

ца длины путей, которую надо дать пучкамъ для того, чтобы получить снова максимальное возбужденіе резонатора, непосредственно и измѣряетъ длину волны колебанія.

Пользуясь своимъ вибраторомъ и уменьшая его размѣры, Риги (1895) могъ наблюдать искру между прямолинейными резонаторами еще при $\lambda = 2{\cdot}5$ cm.; при дальнѣйшемъ уменьшеніи приборовъ методъ, указанный Герцомъ — искра, оказывается болѣе не примѣнимымъ для наблюденія возбужденія резонатора: напряженіе, получаемое отъ электродинамической индукціи въ резонаторѣ, длина котораго меньше 1·2 cm., уже такъ мало, что его не хватаетъ для образованія искры даже микроскопической длины. При еще меньшихъ резонаторахъ можно съ успѣхомъ воспользоваться двумя другими методами, примѣняемыми также и для большихъ волнъ: термоэлементомъ Клеменчича (Klemenčič) и когереромъ Бранли (Branly).

Если къ концамъ резонаторовъ R_1 и R_2 (фиг. 8), между которыми должна проскакивать искра, припаять проволоки разнородныхъ металловъ (напр. *Pt* и *Fe*), и накрестъ захлестнуть ихъ, какъ показано на чертежѣ, то при возбужденіи резонаторовъ разряды переходятъ по проволокамъ, нагрѣваютъ ихъ и мѣсто ихъ соприкосновенія; вслѣдствіе этого получается термоэлектрическій токъ, обнаруживаемый чувствительнымъ гальванометромъ *G*, отклоненіемъ стрѣлки котораго и измѣряется возбужденіе резонаторовъ.

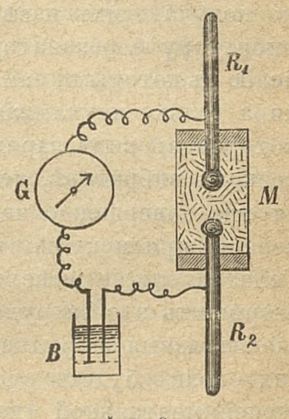


фиг. 8.

Методъ „когерера" заключается въ слѣдующемъ: концы резонаторовъ R_1 и R_2 (фиг. 9) находятся въ стекляной трубочкѣ *M*, наполненной металлическими опилками; благодаря микроскопическому слою окиси на поверхности отдѣльныхъ металлическихъ зеренъ между ними *нѣтъ* соединенія, необходимаго для проводимости: введя въ цѣпь опилки, батарею *B* и гальванометръ *G*, мы въ этомъ послѣднемъ не будемъ наблюдать тока. Но, достаточно очень слабаго заряженія концовъ резонаторовъ, которое получается при возбужденіи въ нихъ колебаній, чтобы опилки „спаялись" и сразу стали проводить электричество. Нарушить эту связь можно лег-

кимъ сотрясеніемъ: когереръ становится опять способнымъ воспринять и обнаружить новое колебаніе резонаторовъ [1]).

Пишущему эти строки удалось (1895) получать и при помощи термоэлемента наблюдать электромагнитныя волны въ $\lambda = 6$ mm.; съ этими волнами можно было обнаружить двойное преломленіе въ кристаллахъ сѣры и построить для нихъ призму Николя. Еще уменьшая вибраторъ — дѣлая его изъ двухъ цилиндриковъ въ 0·3 mm. толщины и 0·8 mm. длины, я обнаружилъ слабыя, но несомнѣнныя слѣды колебанія при $\lambda = 3$ mm. До настоящаго времени это самыя короткія электромагнитныя волны, которыя когда-либо наблюдались при искровомъ разрядѣ проводниковъ.



Фиг. 9.

Пользуясь когереромъ, Бозъ (Bose, 1896) также наблюдалъ волны въ $\lambda = 6$ mm. и Лампа (Lampa, 1897) изслѣдовалъ преломленіе волнъ въ $\lambda = 4$ mm.

Сопоставляя все вышесказанное, мы видимъ, что экспериментальная техника выработала способы полученія электрическихъ волнъ, начинающихся отъ безконечно-длинныхъ до волнъ въ $\lambda = 15$ klm. въ видѣ принужденныхъ колебаній съ неизмѣнною амплитудою, даваемыхъ магнитоэлектрическими машинами. Эти колебанія далеко заходятъ въ область колебаній, которыя даютъ намъ проводники при искровомъ разрядѣ: здѣсь мы имѣемъ колебанія, начиная отъ $\lambda = 600$ klm. и кончая колебаніями въ двѣсти милліоновъ разъ болѣе короткими, съ $\lambda = 3$ mm.

Однако современная физика не можетъ довольствоваться этимъ колоссальнымъ интерваломъ извѣстныхъ уже электромагнитныхъ волнъ: дѣло въ томъ, что переходя къ волнамъ $\lambda < 1$ m., мы попадаемъ въ область волнъ, соотвѣтствующихъ уже молекулярнымъ колебаніямъ матеріи; но для всесторонняго изслѣдованія свойствъ матеріи намъ необходимо пользоваться еще меньшими колебаніями. Тепловое лучеиспусканіе, какъ мы увидимъ дальше, не можетъ давать лучей $\lambda > 0·1$ mm.; для полученія ко-

---

[1]) При безпроволочной телеграфіи Маркони когереръ служитъ также для регистрированія волнъ во много метровъ длины.

лебаній, заключающихся между $\lambda = 3$ mm. и $\lambda = 0\cdot1$ mm., намъ необходимо найти новый источникъ.

Измѣрять длины этихъ болѣе короткихъ волнъ интерференціею и наблюдать ихъ термоэлементомъ не составитъ трудности, но получать ихъ извѣстными уже пріемами врядъ-ли возможно: вибратору и резонатору нужно было бы дать размѣры, по сравненію съ которыми самыя тонкія произведенія часовщика или ювелира только неуклюжія металлическія массы; количество энергіи, которое въ видѣ заряда можно запасти на такомъ микроскопическомъ вибраторѣ, неуловимо мало; сверхъ всего этого является еще совершенно неизвѣстнымъ возможны-ли образованія колебаній при искровомъ разрядѣ такихъ ничтожныхъ зарядовъ [1]. Сейчасъ мы не имѣемъ возможности предвидѣть, какъ удастся разрѣшить это затрудненіе; во всякомъ случаѣ тутъ встрѣтятся значительныя затрудненія и способъ полученія еще болѣе короткихъ волнъ будетъ очень крупнымъ шагомъ впередъ въ области экспериментальной физики.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Электромагнитная теорія свѣта

П. А. Зилова.

1. Изъ всѣхъ блестящихъ успѣховъ физики послѣдняго времени электромагнитная теорія свѣта далеко оставляетъ за собою все остальное. Созданіе и развитіе этой теоріи связаны съ славными именами Фарадея, Максвелля и Герца. Фарадей первый доказалъ, что въ электрическихъ явленіяхъ главная роль принадлежитъ изоляторамъ, а не проводникамъ, что напр. электрическія притяженія и отталкиванія суть не дѣйствія на разстояніи, а результатъ вліянія окружающей среды. Максвелль, теоретически

[1]) Появленіе искрового разряда даже въ большомъ вибраторѣ Герца еще не служитъ достаточною причиною для образованія колебаній: стоитъ дохнуть на искровой перерывъ, чтобы всякое возбужденіе въ резонаторѣ исчезло, хотя искра и проскакиваетъ безпрепятственно. Вотъ почему экспериментированіе съ герцевскими колебаніями (особенно при малыхъ λ) требуетъ большой опытности.

развивая идеи Фарадея, опредѣленнѣе формулировалъ способъ распространенія дѣйствій наэлектризованнаго тѣла въ томъ частномъ случаѣ, когда зарядъ этого тѣла періодически измѣняется, когда въ немъ происходятъ электрическія колебанія: тогда по окружающему изолятору распространяются *электромагнитныя волны* на подобіе того, какъ въ воздухѣ, окружающемъ звучащее тѣло, распространяются звуковыя волны. Наконецъ Герцу удалось осуществить эти электромагнитныя волны.

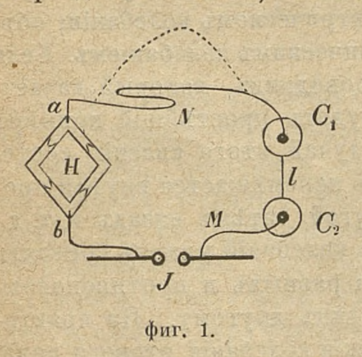
Разъ былъ найденъ способъ осуществлять электромагнитныя волны, стали изслѣдовать явленія, сопровождающія ихъ распространеніе. При этомъ были найдены явленія аналогичныя всѣмъ свѣтовымъ явленіямъ. Отсюда естественно вытекало заключеніе, что свѣтовыя явленія отличаются отъ электрическихъ только количественно, но не качественно, что свѣтовыя и электромагнитныя волны тождественны. Это заключеніе, столь выразительно формулированное Герцемъ въ словахъ: „свѣтъ есть электрическое явленіе", служитъ основаніемъ электромагнитной теоріи свѣта. При изложеніи этой теоріи мы опишемъ рядъ электрическихъ опытовъ совершенно аналогичныхъ давно извѣстнымъ оптическимъ опытамъ. Хотя по своей сущности электромагнитныя волны ближе къ свѣтовымъ, но по своимъ размѣрамъ онѣ приближаются скорѣе къ звуковымъ волнамъ; вслѣдствіе этого нѣкоторые изъ опытовъ съ электромагнитными волнами дѣлаются при помощи приборовъ, напоминающихъ акустическіе.

2. Выше мы упоминали объ электрическомъ колебаніи; объяснимъ теперь, что называется электрическимъ колебаніемъ. Если мы представимъ себѣ заряженный проводникъ, который качается по законамъ маятника, то это будетъ простѣйшій примѣръ электрическаго колебанія. Другой случай этого явленія состоитъ въ томъ, что электрическій зарядъ перемѣщается внутри проводника изъ одного его конца въ другой, затѣмъ назадъ и т. д.; болѣе сложный случай электрическихъ колебаній можетъ состоять въ томъ, что внутри проводника два равныхъ и противоположныхъ заряда качаются навстрѣчу одинъ другому. На практикѣ имѣютъ значенія лишь электрическія колебанія второго рода, происходящія сами собою, безъ участія механическихъ силъ (ибо иначе эти колебанія могутъ быть лишь очень медленными, малой повторяемости). Но какъ осуществить электрическія колебанія, которыя бы совершались сами собою? Для этого разсмотримъ разрядъ лейденской банки.

Представимъ себѣ заряженную лейденскую банку; одна ея обкладка, напр. внутренняя, имѣетъ опредѣленный положительный зарядъ, а другая—такой же отрицательный зарядъ. Если проволокою соединить обкладки заряженной лейденской банки, то мы разрядимъ ее. Опытъ показываетъ, что разряды могутъ происходить различно. Положительный зарядъ внутренней обкладки отчасти переходитъ на внѣшнюю, а отрицательный наоборотъ, пока оба заряда не распредѣлятся одинаково и банка не разрядится; если этимъ и оканчивается процессъ разряда, то его называютъ *непрерывнымъ разрядомъ.* Но иногда разрядъ происходитъ иначе: обкладки не только разряжаются, но нѣсколько разъ перезаряжаются; обкладка, которая сначала была заряжена положительно, разряжается на мгновеніе, заряжается отрицательно, опять разражается, заряжается положительно и т. д.; другая обкладка испытываетъ противоположныя измѣненія: заряженная сначала отрицательно, она разряжается, заряжается положительно и т. д. При этомъ въ проволокѣ, соединяющей обкладки банки, происходятъ встрѣчныя перемѣщенія противоположныхъ электричествъ въ ту и другую сторону, т. е. электрическія колебанія, а потому и самый такой разрядъ называется *колебательнымъ разрядомъ.*

Простымъ опытомъ можно демонстрировать оба рода электрическихъ разрядовъ.

Возьмемъ электрическую машину Фосса; кондукторы машины раздвинемъ такъ, чтобы между ними никогда не перескакивали искры, а въ заряжаемыхъ ею лейденскихъ банкахъ C_1 и C_2 (фиг. 1) соединимъ: внѣшнія обкладки проволокою l, а внутреннія—проволокою MN, въ которую введены искровой прерыватель J и гольцевская трубка H; когда лейденскія банки достаточно зарядятся машиною, онѣ разряжаются чрезъ цѣпь MN и заставляютъ при этомъ свѣтиться трубку H. Гольцевскою трубкою



фиг. 1.

называется гейслеровская трубка съ двумя вѣтвями, внутрь которыхъ впаяны стекляныя воронки; узкіе концы послѣднихъ обращены въ правой вѣтви къ электроду a, а въ лѣвой—къ электроду b; эти воронки имѣютъ свойство пропускать лишь только такой разрядъ, который направленъ отъ ихъ узкаго конца къ ши-

рокому [1]); такимъ образомъ если гольцевская трубка введена въ цѣпь, по которой идетъ токъ отъ a къ b, то свѣтится одна правая вѣтвь; если же разрядъ направленъ отъ b къ a, то свѣтится одна лѣвая вѣтвь. Если наконецъ мы будемъ пропускать чрезъ нашу трубку колебательный разрядъ, т. е. быстро слѣдующіе одинъ за другимъ разряды противоположныхъ направленій, то обѣ вѣтви будутъ свѣтиться.

Обращаемся теперь къ нашему опыту. Если концы прерывателя J раздвинуть немного, то свѣтится одна вѣтвь трубки H; слѣд. разрядъ банокъ непрерывный. Будемъ постепенно увеличивать разстояніе между концами прерывателя (вслѣдствіе чего сопротивленіе „искры" уменьшается); въ извѣстный моментъ засвѣтятся обѣ вѣтви нашей трубки; слѣдовательно теперь разрядъ банокъ колебательный. Этотъ опытъ, обнаруживая оба рода разрядовъ — непрерывный и колебательный, показываетъ еще, что при остальныхъ равныхъ условіяхъ разрядъ изъ непрерывнаго превращается въ колебательный тогда, когда сопротивленіе разрядной цѣпи достаточно уменьшится.

Разъяснить происхожденіе того и другого разряда можно хотя отчасти, обратившись къ маятнику, движеніе котораго представляетъ образецъ колебаній. Пусть два проводника, напр. обкладки конденсатора, соединяются проволокою; если онѣ не одинаково заряжены (не при одномъ потенціалѣ), то электрическое равновѣсіе нарушено подобно тому, какъ нарушается механическое равновѣсіе, когда маятникъ отклоненъ отъ вертикальнаго направленія. И въ томъ и въ другомъ случаѣ системы стремятся возстановить равновѣсіе: проводники сравниваютъ свои потенціалы при помощи тока въ соединительной проволокѣ, а маятникъ приближается къ вертикали. Но маятникъ не останавливается въ своемъ положеніи равновѣсія; пріобрѣтая скорость, онъ—по инерціи—проходитъ это положеніе; подобно тому, когда наши проводники разрядятся, достигнутое электрическое равновѣсіе не удержится, а тотчасъ же будетъ нарушено причиною аналогичною съ инерціею.

Эта причина, какъ нетрудно видѣть, есть самонаведеніе. Къ моменту сравненія потенціаловъ разрядный токъ исчезаетъ,

---

[1]) За направленіе разряда считаютъ направленіе движенія положительнаго электричества; движеніе отрицательнаго электричества равносильно разряду **противоположнаго направленія.**

но въ то же время—вслѣдствіе самонаведенія—въ соединительной проволокѣ индуцируется токъ такого же направленія, и разрядный токъ продолжается индуцированнымъ, пока послѣдній не сообщитъ проводникамъ заряды противоположные тѣмъ, которые они имѣли прежде. Здѣсь, какъ и въ случаѣ маятника, положеніе равновѣсія перейдено; для его возстановленія надо вернуться назадъ. Когда же равновѣсіе вновь достигается, та же причина его тотчасъ нарушаетъ, и колебанія слѣдуютъ безпрерывно одно за другимъ.

Колебанія маятника не продолжаются безъ конца: каждое его колебаніе совершается съ меньшею амплитудою, чѣмъ предыдущее; послѣ нѣкотораго числа постепенно затухающихъ колебаній, маятникъ останавливается. Это обусловливается треніемъ. Но въ электрическихъ явленіяхъ сопротивленіе проводника играетъ ту же роль, какъ треніе—въ механическихъ явленіяхъ; слѣд. и электрическія колебанія должны постепенно затухать (уменьшать свои амплитуды) и подъ конецъ совсѣмъ прекратиться.

Если треніе, испытываемое маятникомъ, незначительно, то оно не оказываетъ замѣтнаго вліянія на періодъ его качаній; если же маятникъ находится въ очень вязкой средѣ, представляющей ему большое сопротивленіе, то, будучи поднятъ, онъ опускается медленно, безъ скорости достигаетъ своего положенія равновѣсія и не перейдетъ чрезъ него: маятникъ не будетъ качаться. Совершенно подобное же наблюдается и при электрическомъ разрядѣ; незначительное сопротивленіе проводника не вліяетъ на періодъ происходящихъ въ немъ электрическихъ колебаній; если сопротивленіе значительно увеличивается, то періодъ электрическихъ колебаній въ проводникѣ возрастаетъ, а когда это сопротивленіе дѣлается очень большимъ, то разрядъ въ немъ перестаетъ быть колебательнымъ.

Теорія электрическихъ колебаній была дана Гельмгольцомъ; оказывается, что эти колебанія имѣютъ мѣсто только въ томъ случаѣ, если существуетъ извѣстное соотношеніе между электроемкостью ($\mathfrak{C}$) разряжающейся банки, сопротивленіемъ (R) и коэффиціентомъ самонаведенія (L) цѣпи, а именно когда

$$\frac{L}{R^2} > \frac{\mathfrak{C}}{4}; \tag{1}$$

тогда происходитъ колебательный разрядъ; если сопротивленіе

мало, то періодъ электрическихъ колебаній опредѣляется формулою:

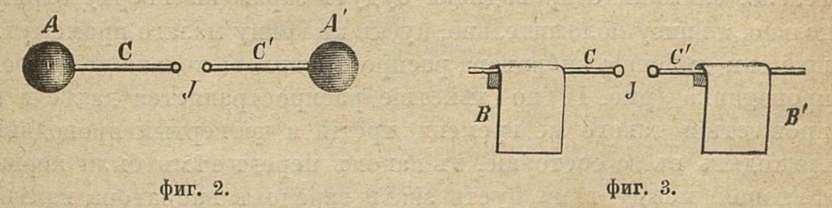
$$T = 2\pi\sqrt{L\mathfrak{C}}. \tag{2}$$

Отсюда видно, что періодъ электрическихъ колебаній въ данномъ проводникѣ вполнѣ опредѣляется его размѣрами и формою, отъ которыхъ зависятъ L и $\mathfrak{C}$; иначе говоря, *каждому проводнику свойственны электрическія колебанія опредѣленнаго періода.*

Хотя это время T обыкновенно бываетъ очень мало (до 0·0000002 sec. и короче), тѣмъ не менѣе его можно измѣрить при помощи вращающагося зеркальца [1]).

Укажу еще на опытъ, оправдывающій условіе (1). Коэффиціентъ самонаведенія контура зависитъ отъ его формы и размѣровъ; для проволоки, сложенной вдвое, онъ равенъ нулю; если же проволоку расправить, то ея коэффиціентъ самоиндукціи отличенъ отъ нуля. Пусть сначала одна часть соединительной проволоки N сложена вдвое; будемъ сближать концы прерывателя J, пока колебательный разрядъ въ нашей цѣпи не смѣнится непрерывнымъ, и пока одна изъ вѣтвей трубки H не потухнетъ; если затѣмъ расправимъ проволоку N и такимъ образомъ увеличимъ коэффиціентъ самоиндукціи цѣпи, то обѣ вѣтви трубки вновь засвѣтятся. Слѣд. при постоянныхъ $\mathfrak{C}$ и R разрядъ изъ непрерывнаго превращается въ колебательный тогда, когда коэффиціентъ самоиндукціи достаточно увеличится.

3. Для опытовъ Герца электрическія колебанія разряжающейся лейденской банки оказались слишкомъ продолжительными; надо было уменьшить электроемкость банки и уменьшить самоиндукцію разрядной цѣпи; поэтому Герцъ устроилъ свою „банку" изъ двухъ сферическихъ проводниковъ A и A' (фиг. 2)



фиг. 2. фиг. 3.

или изъ двухъ металлическихъ листовъ B и B' (фиг. 3), значительно удаленныхъ другъ отъ друга, а разрядную цѣпь — изъ прямого проводника CC' между ними; въ этомъ проводникѣ былъ

[1]) См. стр. 52.

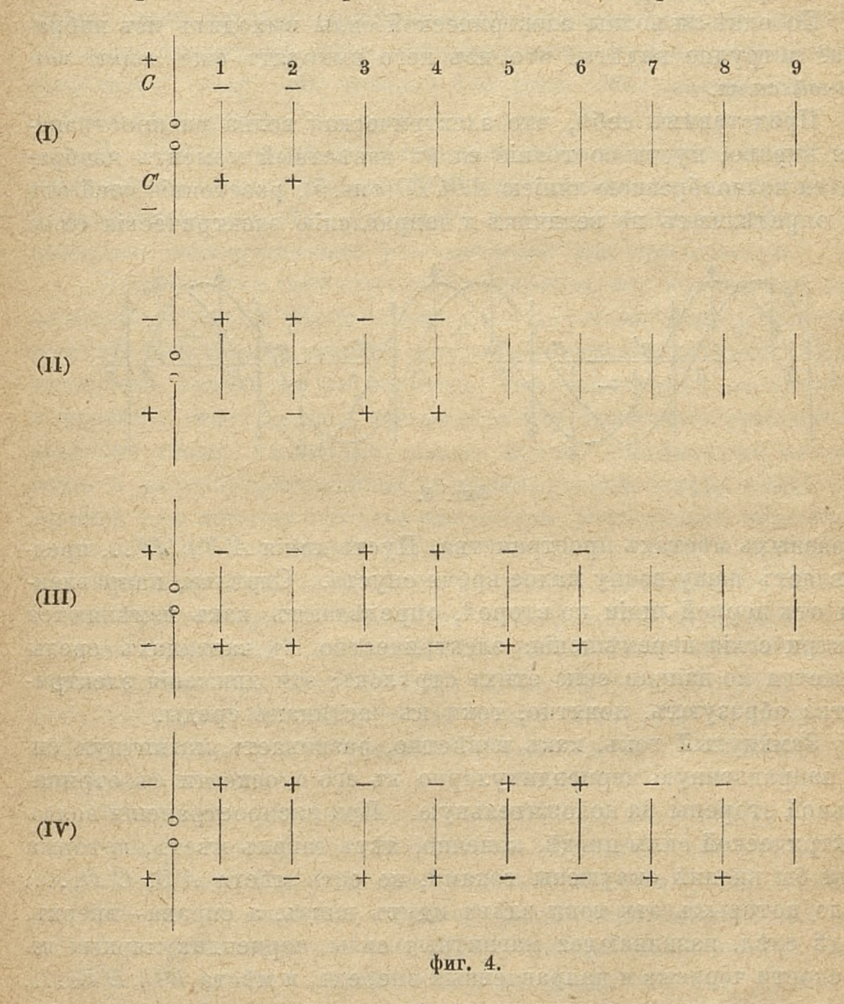
перерывъ J, въ которомъ образовывалась искра; все это вмѣстѣ составляло *электрическій вибраторъ*. Прямую, перпендикулярную къ вибратору и проходящую чрезъ его средину, называютъ *главною линіею* вибратора.

Проводники C и C' вибратора соединяются съ полюсами индуктора Румкорфа, который ихъ заряжаетъ различными электричествами; проводники не тотчасъ же разряжаются, благодаря изолирующему слою воздуха въ J; но, когда эти заряды сдѣлаются достаточными, въ J происходитъ искра, замыкающая наши проводники, и при этомъ послѣднія разряжаются колебательно.

4. Электрическія колебанія въ вибраторѣ сопровождаются нѣкоторыми явленіями въ окружающей средѣ. Для того, чтобы дать себѣ отчетъ въ этихъ явленіяхъ, представимъ себѣ вибраторъ CC' (фиг. 4) и рядъ равноотстоящихъ другъ отъ друга цилиндрическихъ проводниковъ 1, 2, 3..., расположенныхъ по главной линіи вибратора и параллельно ему; когда проводникъ C заряженъ положительно и C' отрицательно, въ проводникахъ 1, 2, 3,... наводятся заряды: отрицательные на верхнихъ концахъ и положительные на нижнихъ; если знаки зарядовъ C и C' измѣняются, то и знаки зарядовъ въ 1, 2, 3... тоже измѣняются; если между C и C' происходитъ колебательный разрядъ, то въ 1, 2, 3... происходятъ электрическія колебанія. Если бы дѣйствіе вибратора распространялось мгновенно, то всѣ проводники 1, 2, 3... одновременно были заряжены одинаково (напр. вверху всѣ положительно, а внизу всѣ отрицательно).

Примемъ, что электрическое дѣйствіе распространяется съ нѣкоторою скоростью; пусть въ первый моментъ разряда верхняя половина вибратора заряжена положительно, а нижняя—отрицательно; ближайшіе проводники будутъ заряжены вверху отрицательно, а внизу положительно; пусть къ концу малаго промежутка времени дѣйствіе вибратора распространилось только до второго проводника (рис. I); но дѣйствіе распространяется далѣе и по прошествіи такого же времени третій и четвертый проводники приходятъ въ то состояніе, въ какомъ передъ тѣмъ были первый и второй; между тѣмъ пусть знаки зарядовъ вибратора измѣнились, вслѣдствіе чего измѣнились и знаки зарядовъ въ первыхъ двухъ проводникахъ (рис. II). Еще чрезъ такое же время пятый и шестой проводники заряжаются, а знаки зарядовъ предыдущихъ измѣняются (рис. III) и т. д. Такія перезаряженія нашихъ проводниковъ сопровождаются электрическими колебаніями въ нихъ

того же періода, какъ и въ вибраторѣ. Понятно, что эти колебанія вызываются электрическими силами, дѣйствующими въ разныхъ мѣстахъ поля и періодически направляемыми то вверхъ, то внизъ; эти силы развиваются въ полѣ вибраторомъ независимо отъ того, находятся-ли тамъ тѣ проводники 1, 2, 3, . . . , дѣйствіемъ на которые онѣ себя проявляютъ. Такимъ образомъ отъ вибра-



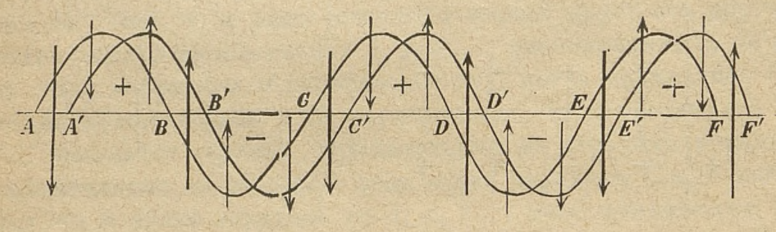
фиг. 4.

тора съ электрическими колебаніями въ окружающемъ эѳирѣ распространяются электрическія силы, которыя въ каждомъ данномъ мѣстѣ измѣняются періодически, направляясь то въ одну сторону, то въ прямо противоположную; такое распространеніе силы

графически можно представить скользящею волнообразною линіею подобно тому, какъ вообще представляютъ распространеніе волнъ: въ данномъ случаѣ распространяются *волны электрической силы*. Эти волны, понятно, поперечныя: электрическія силы всюду перпендикулярны къ главной линіи вибратора, по направленію которой онѣ распространяются.

Но однѣ-ли волны электрической силы выходятъ изъ вибратора? нетрудно видѣть, что изъ него выходятъ еще *волны магнитной силы*.

Представимъ себѣ, что электрическая волна распространяется вправо; пусть состояніе ея въ извѣстный моментъ изображается волнообразною линіею $ABCD$ (фиг. 5), разстоянія коей отъ оси опредѣляютъ по величинѣ и направленію электрическія силы



фиг. 5.

въ разныхъ мѣстахъ пространства. Пусть линія $A'B'C'D'$... представляетъ нашу волну малое время спустя. Стрѣлки, направленныя отъ первой линіи ко второй, опредѣляютъ, какъ измѣняются электрическія перемѣщенія: электричество въ частицахъ среды движется по направленію этихъ стрѣлокъ; эти движенія электричества образуютъ, понятно, токи въ частицахъ среды.

Замкнутый токъ, какъ извѣстно, развиваетъ магнитную силу, направленную перпендикулярно къ его плоскости съ отрицательной стороны на положительную. При распространеніи волнъ электрической силы нигдѣ, конечно, нѣтъ такихъ мѣстъ, которыя были бы вполнѣ окружены токами, но есть мѣста $A'B$, $C'D$, ..., около которыхъ эти токи слѣва идутъ внизъ, а справа—вверхъ, и гдѣ слѣд. развиваются магнитныя силы перпендикулярныя къ плоскости чертежа и направленныя впередъ, и мѣста $B'C$, $D'E$, ..., около которыхъ эти токи справа идутъ внизъ, и гдѣ развиваются магнитныя силы, направленныя назадъ; около мѣстъ BB', CC', ..., какъ справа, такъ и слѣва, токи перемѣщенія направлены одинаково, и потому здѣсь нѣтъ магнитныхъ силъ. Распредѣленіе на-

нихъ магнитныхъ силъ представляется волнообразною линіею того же періода, какъ періодъ первой, представляющей распредѣленіе электрическихъ силъ; эта вторая линія пересѣкаетъ ось въ тѣхъ же точкахъ какъ и первыя; но плоскость второй линіи перпендикулярна къ плоскости первой линіи.

Такимъ образомъ съ распространяющеюся волною электрической силы связана распространяющаяся въ томъ же направленіи волна магнитной силы; обѣ волны вмѣстѣ образуютъ *электромагнитную волну.* Мы можемъ говорить объ *электрическихъ* и *магнитныхъ лучахъ.*

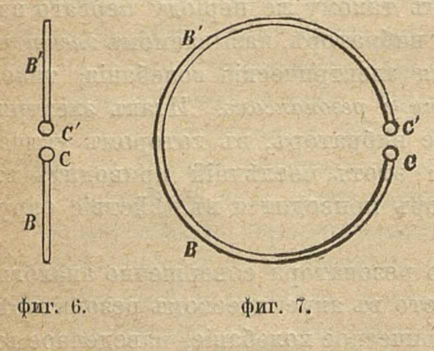
5. Теперь возникаетъ вопросъ: какъ обнаружить существованіе электромагнитныхъ волнъ или существованіе электрическихъ и магнитныхъ лучей? Для этого служатъ особые приборы, называемые *электрическими резонаторами* или *пріемниками.*

Представимъ себѣ звучащій камертонъ, отъ котораго въ окружающемъ воздухѣ распространяются звуковыя волны; для обнаруженія послѣднихъ ставятъ другой камертонъ, который, будучи настроенъ одинаково съ первымъ, тоже приходитъ въ колебанія и звучитъ; такое явленіе называется акустическимъ резонансомъ. Подобно этому электромагнитныя волны, вызываемыя вибраторомъ и распространяющіяся въ изолирующей средѣ, можно обнаружить при помощи второго вибратора, если только періодъ его электрическихъ колебаній равенъ такому же періоду перваго вибратора; при этомъ во второмъ вибраторѣ, называемомъ *электрическимъ резонаторомъ,* наводятся электрическія колебанія; такое явленіе называется *электрическимъ резонансомъ.* Итакъ электрическій резонаторъ есть тотъ же вибраторъ, въ которомъ устраненъ ненужный ему индукторъ; этотъ послѣдній приводитъ въ дѣйствіе вибраторъ, а резонаторъ приводится въ дѣйствіе окружающимъ полемъ.

Механизмъ электрическаго резонатора совершенно аналогиченъ тому, который имѣетъ мѣсто въ акустическомъ резонаторѣ, напр. въ органной трубѣ: электрическое колебаніе, наведенное въ резонаторѣ окружающею средою, распространяется вдоль резонатора, отражается отъ его конца, возвращается назадъ, отражается отъ другого конца, опять возвращается и т. д.; всѣ эти встрѣчныя колебанія интерферируютъ; если періодъ этихъ колебаній подходитъ къ размѣрамъ резонатора, то они образуютъ одну стоячую волну съ пучностями и узлами; въ противномъ случаѣ они взаимно уничтожаются; отсюда заключаемъ, что каждо-

му резонатору свойственно электрическое колебаніе опредѣленнаго періода. Выше мы видѣли для чего вибратору нужна искра: она позволяетъ проводникамъ разряжаться; резонаторъ, понятно, не нуждается въ искрѣ, такъ какъ приводится въ дѣйствіе окружающимъ полемъ; поэтому можно употреблять *сплошной* резонаторъ, въ которомъ промежуточные проводники соединены безъ перерыва; такимъ сплошнымъ резонаторомъ можетъ служить металлическій стержень или металлическая пластинка. Но недостаточно, чтобы въ резонаторѣ происходили колебанія; намъ надо еще знать, что они тамъ происходятъ; въ виду этого резонаторъ, какъ и вибраторъ, снабжаютъ искровымъ прерывателемъ, въ которомъ бы появлялась искра, когда въ резонаторѣ образуются электрическія колебанія. Такимъ образомъ вибраторъ той или другой формы можетъ быть употребляемъ въ качествѣ резонатора; обыкновенно крайніе проводники устраняются; чаще всего пользуются резонаторами двухъ типовъ: *разомкнутымъ резонаторомъ* (фиг. 6), въ которомъ промежуточная проволока BB' прямая, и *замкнутымъ* (фиг. 7), въ которомъ эти проволоки согнуты и соединены концами. Вторичныя искры въ резонаторѣ гораздо короче (сотыя доли миллиметра) первичныхъ искръ вибратора.

Когда происходитъ искра въ резонаторѣ? Электрическія колебанія быстро тухнутъ; если наибольшая изъ амплитудъ этихъ колебаній, именно перваго колебанія, достаточно велика, чтобы разность потенціаловъ въ прерывателѣ достигла того значенія, при которомъ можетъ произойти искра данной длины, то она и образуется. Это похоже на то, какъ если бы въ непрозрачномъ сосудѣ колебался уровень воды и мы бы узнавали объ этихъ колебаніяхъ только тогда, когда они становятся столь сильными, что часть воды выплескивается чрезъ край сосуда.



фиг. 6. фиг. 7.

6. Длина резонатора опредѣляетъ намъ длину дѣйствующей на него электрической волны, совершенно подобно тому, какъ по длинѣ органной трубы можно опредѣлить длину звуковой волны, которая ею усваивается. Резонаторъ откликается на данную электрическую волну только въ томъ случаѣ, когда имѣетъ со-

отвѣтствующіе размѣры или когда *настроенъ* надлежащимъ образомъ.

Собственно говоря даже отдѣльное электрическое сотрясеніе, дѣйствуя какъ толчокъ, можетъ вызвать электрическія колебанія въ данномъ резонаторѣ; но такія колебанія, конечно, очень слабы (малыхъ амплитудъ); для усиленія колебаній слѣдовало бы, чтобы на резонаторъ дѣйствовалъ рядъ такихъ толчковъ или электромагнитная волна. Если эти толчки слѣдуютъ чрезъ промежутки времени равные періоду свойственныхъ данному резонатору электрическихъ колебаній, то всѣ они дѣйствуютъ согласно и вызываютъ въ резонаторѣ сильныя электрическія колебанія; если же толчки слѣдуютъ чрезъ промежутки времени неравные этому періоду, то каждый толчокъ ослабляетъ дѣйствіе предыдущаго толчка; въ резонаторѣ вызываются лишь слабыя колебанія.

Колебанія вибратора скоро тухнутъ; поэтому онъ испускаетъ только нѣсколько волнъ быстро убывающихъ амплитудъ; чтобы всѣ онѣ дѣйствовали согласно на резонаторъ, свойственныя послѣднему колебанія должны быть того же періода, какъ и періодъ колебаній вибратора; иначе говоря, вибраторъ только тогда вызываетъ въ резонаторѣ сильныя электрическія колебанія, когда и тотъ и другой *настроены* одинаково. Если же вибраторъ и резонаторъ не настроены, то въ послѣднемъ хотя и вызываются колебанія, но лишь слабыя: каждый гребень волнъ, достигая резонатора, отчасти уничтожаетъ дѣйствіе предыдущаго.

Слѣдующій опытъ показываетъ дѣйствіе настроеннаго и ненастроеннаго резонатора. Поставимъ какой-нибудь резонаторъ передъ вибраторомъ, имѣющимъ форму, изображенную на фиг. 3; если сначала резонаторъ не откликается на колебанія вибратора, то передвигая листы B и B' и измѣняя такимъ образомъ электроемкость послѣдняго, а слѣд. и періодъ происходящихъ въ немъ электрическихъ колебаній, можно достичь того, что въ резонаторѣ появится искра: тогда мы настроили вибраторъ на данный резонаторъ.

7. Изобрѣтенный Бранли пріемникъ электрическихъ волнъ, называемый *когереромъ*, состоитъ изъ стекляной трубочки, наполненной металлическими опилками; каждый кусочекъ металла хорошій проводникъ; но токъ встрѣчаетъ значительное сопротивленіе для перехода изъ одного кусочка въ другой; весь приборъ поэтому представляетъ громадное сопротивленіе; это сопротив-

леніе, какъ показываетъ опытъ, значительно уменьшается, когда до прибора достигаютъ электрическія волны; сотрясеніемъ или нагрѣваніемъ возстановляется первоначальное большое сопротивленіе пріемника. По всей вѣроятности дѣйствіемъ электрическихъ волнъ наводятся токи въ опилкахъ, при чемъ между ними происходятъ разряды и искры, спаивающія нѣкоторыя изъ нихъ, вслѣдствіе чего сопротивленіе пріемника уменьшается; сотрясеніе или нагрѣваніе пріемника ломаетъ эти спаи и сопротивленіе его возрастаетъ.

Представимъ себѣ, что въ цѣпь съ элементомъ и гальванометромъ, включенъ пріемникъ Бранли, выставленный на пути распространенія электромагнитныхъ волнъ, высылаемыхъ вибраторомъ; пока вибраторъ этотъ не дѣйствуетъ, пріемникъ не пропускаетъ тока; когда же вибраторъ начнетъ дѣйствовать, сопротивленіе пріемника значительно уменьшается, и токъ въ цѣпи возрастетъ, что тотчасъ же и обнаруживаетъ гальванометръ.

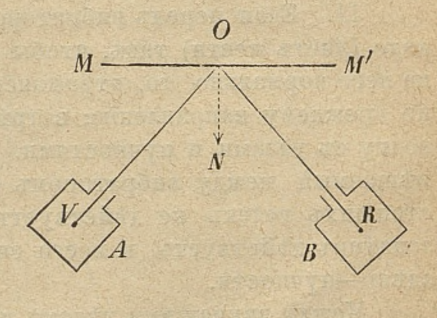
8. Электрическія колебанія въ резонаторѣ вызываются тѣми силами, которыя распространяетъ электромагнитная волна; но какая именно изъ этихъ силъ — электрическая или магнитная — дѣйствуетъ на резонаторъ? Въ замкнутомъ резонаторѣ электрическія колебанія могутъ наводиться какъ электрическими, такъ и магнитными силами; въ разомкнутомъ и сплошномъ резонаторѣ, а также въ пріемникѣ Бранли колебанія наводятся однѣми электрическими силами.

Извѣстно, что магнитное поле наводитъ токъ въ замкнутой проволокѣ только въ томъ случаѣ, когда его силовыя нити пронизываютъ контуръ этого проводника и измѣняются въ своемъ числѣ; въ прямолинейномъ разомкнутомъ или сплошномъ резонаторѣ нѣтъ, а въ пріемникѣ Бранли можетъ не быть замкнутаго контура, который пронизывался бы магнитными нитями; слѣд. какъ бы окружающее магнитное поле ни измѣнялось, оно въ такихъ резонаторахъ не наводитъ электрическихъ колебаній. Напротивъ того періодически измѣняющіяся электрическія силы могутъ наводить электрическія колебанія въ разомкнутомъ или въ сплошномъ резонаторахъ, а также въ пріемникѣ Бранли, если только они расположены параллельно этимъ силамъ.

9. Если между вибраторомъ и пріемникомъ помѣстить стекло, то послѣдній откликается: электромагнитныя волны доходятъ до пріемника чрезъ стекло; если же между вибраторомъ и пріемникомъ помѣстить металлическій листъ, то пріемникъ не дѣйству-

етъ: металлъ не пропускаетъ электромагнитныхъ волнъ. Слѣд. по отношенію къ электромагнитнымъ волнамъ тѣла дѣлятся на пропускающія и на непропускающія ихъ чрезъ себя; къ первой категоріи относятся всѣ изоляторы, ко второй—проводники. Отсюда заключаемъ, что электромагнитныя волны могутъ распространяться только внутри изоляторовъ; но послѣднія, какъ стекло, прозрачны для свѣта; правда нѣкоторые изоляторы, какъ эбонитъ, мы считаемъ непрозрачными; но эбонитъ, не пропуская свѣтящихъ лучей, пропускаетъ инфракрасные лучи, волны коихъ имѣютъ большую длину; такимъ образомъ дѣлаемъ слѣдующій общій выводъ: всѣ изоляторы прозрачны (если не для всѣхъ, то для нѣкоторыхъ сортовъ свѣтящихъ лучей) или *всѣ тѣла, пропускающія чрезъ себя свѣтовыя волны, пропускаютъ и электромагнитныя.*

10. Вибраторъ высылаетъ изъ себя электрическіе лучи по всѣмъ направленіямъ; но въ большинствѣ опытовъ, которые будутъ описаны ниже, выгоднѣе имѣть ограниченный пучокъ такихъ лучей, на подобіе того, какъ въ оптическихъ опытахъ часто желаютъ имѣть ограниченный пучокъ свѣтящихъ лучей; въ виду этого вибраторъ заключаютъ въ металлическій ящикъ съ небольшимъ отверстіемъ въ одной изъ его стѣнокъ; тогда изъ ящика выходитъ пучокъ электрическихъ лучей, ось котораго совпадаетъ съ прямою, соединяющею средину вибратора съ срединою отверстія; такую прямую мы назовемъ осью нашего ящика. Если пріемникъ заключить въ подобный же ящикъ, то онъ будетъ откликаться только въ томъ случаѣ, когда въ ящикъ проникаютъ электрическіе лучи параллельные его оси. Если наконецъ и вибраторъ и пріемникъ заключить въ ящики, то пріемникъ будетъ откликаться лишь въ томъ случаѣ, когда хотя одинъ изъ лучей, выходящихъ изъ ящика съ вибраторомъ, направленъ по оси ящика съ пріемникомъ.



фиг. 8.

Представимъ себѣ теперь, что ящики A и B (фиг. 8) съ вибраторомъ (V) и резонаторомъ (R) поставлены такъ, чтобы ни одинъ изъ лучей перваго не попадалъ во второй; тогда резо-

наторъ не откликается. Если въ точкѣ, въ которой пересѣкаются оси нашихъ ящиковъ, помѣстить вертикальный листъ жести MM' такъ, чтобы его нормаль N составляла одинакіе углы съ этими осями, то пріемникъ откликается на вибраторъ. Слѣд. электрическіе лучи, идущіе изъ вибратора къ металлическому листу по направленію VO, направляются этимъ листомъ по линіи OR на пріемникъ. Здѣсь происходитъ *отраженіе электрическихъ лучей по тѣмъ же законамъ, по коимъ отражаются и свѣтящіе лучи.*

Электрическіе лучи, отражающіеся отъ плоскихъ зеркалъ, должны, конечно, отражаться и отъ кривыхъ зеркалъ; этимъ можно воспользоваться для усиленія пучка электрическихъ лучей, которые выходятъ изъ вибратора по одному направленію. Такой пріемъ часто практикуется съ свѣтящими лучами, высылаемыми малымъ источникомъ свѣта, такъ наз. свѣтящею точкою, для чего послѣднюю помѣщаютъ въ фокусъ сферическаго зеркала. Но вибраторъ скорѣе похожъ на свѣтящую прямую линію, чѣмъ на свѣтящую точку; поэтому берутъ листъ жести, сгибаютъ его въ параболическій цилиндръ и въ фокусную его линію помѣщаютъ вибраторъ; тогда всѣ электрическіе лучи, падающіе изъ вибратора на такое зеркало, послѣднимъ отражаются по одному направленію; зеркало ставятъ такъ, чтобы всѣ отраженные лучи направлялись по оси ящика, въ которомъ заключенъ вибраторъ.

Можно и пріемникъ помѣстить въ фокусную линію другого цилиндрическаго зеркала; лучи, попадающіе извнѣ въ ящикъ резонатора и падающіе параллельно его оси, отражаются отъ такого зеркала и всѣ сходятся на его фокусной линіи.

11. Если передъ вибраторомъ поставить вертикальное зеркало (листъ жести) такъ, чтобы электромагнитныя волны падали на него нормально, то, отражаясь отъ зеркала, онѣ идутъ назадъ по прежнему направленію; встрѣчныя волны образуютъ стоячую волну съ узлами и пучностями. Резонаторъ (безъ ящика), перемѣщаемый между вибраторомъ и зеркаломъ, въ рядѣ равноотстоящихъ точекъ не дѣйствуетъ; это узлы. Между узлами резонаторъ дѣйствуетъ, и всего сильнѣе посрединѣ между узловъ; здѣсь—пучности.

Между звучащимъ тѣломъ и плоскимъ зеркаломъ тоже образуются стоячія звуковыя волны съ узлами въ разстояніяхъ полуволны другъ отъ друга и съ пучностями посрединѣ; если въ извѣстный моментъ между двумя сосѣдними узлами всѣ части-

цы воздуха перемѣщены въ одну сторону, то между слѣдующими узлами онѣ перемѣщены въ противоположную сторону; чрезъ полперіода перемѣщенія будутъ обратныя.

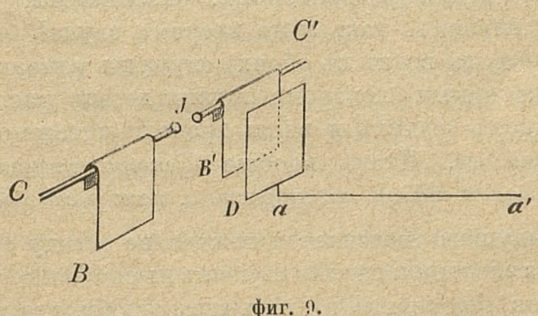
Если образовать стоячія звуковыя волны и измѣрить разстоянія между двумя сосѣдними узлами, то тѣмъ самымъ мы опредѣлимъ длину волны λ для даннаго случая; если найдемъ еще высоту N звука, издаваемаго звучащимъ тѣломъ, съ которымъ дѣлали опытъ, то легко можно вычислить и скорость распространенія звука v, такъ какъ между этими величинами существуетъ соотношеніе:

$$v = N\lambda.$$

Совершенно подобный пріемъ можно примѣнить и къ опредѣленію скорости распространенія электромагнитныхъ волнъ: стоитъ при помощи резонатора, настроеннаго на данный вибраторъ, измѣрить разстояніе между узлами стоячей электромагнитной волны (это даетъ длину волны λ) и опредѣлить еще высоту электрическихъ колебаній вибратора, N; тогда произведеніе $N\lambda$ даетъ искомую скорость.

Скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ опредѣляется косвеннымъ путемъ. Извѣстно [1]), что вдоль проволоки электромагнитная волна распространяется со скоростью 3.10^{10} cm/sec. Нетрудно доказать, что въ свободномъ воздухѣ электромагнитная волна распространяется съ тою же скоростью.

Представимъ себѣ, что передъ одною изъ пластинокъ вибратора поставлена такихъ же размѣровъ металлическая пластинка



фиг. 9.

D (фиг. 9), съ которою соединена длинная проволока *aa'*. Когда въ вибраторѣ происходятъ электрическія колебанія и листъ *B'*

---

[1]) *Физ. Обозр.* Т. 1, стр. 110.

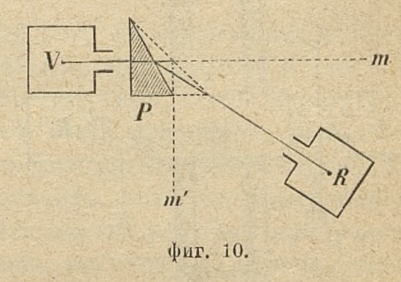
періодически заряжается то положительно, то отрицательно, въ пластинкѣ D тоже происходятъ электрическія колебанія, ибо D и B' образуютъ конденсаторъ и зарядъ листа B' наводитъ въ D такой же величины зарядъ, а зарядъ того же знака отталкивается и распространяется по проволокѣ aa'; но зарядъ листа B' испытываетъ колебанія, слѣд. и зарядъ листа D тоже испытываетъ колебанія, а по проволокѣ aa' распространяются электрическія волны; эти волны, какъ показываетъ опытъ, достигнувъ конца проволоки, отражаются и затѣмъ распространяются назадъ; если длина проволоки выбрана надлежащимъ образомъ, то распространяющіяся вдоль нея встрѣчныя волны складываются въ стоячую волну съ неподвижными узлами и пучностями. Узловыя точки проволоки остаются всегда незаряженными; если отрѣзокъ между двумя узлами заряженъ всюду положительно, то отрѣзокъ между слѣдующими двумя узлами заряженъ отрицательно и т. д.; знакъ заряда въ каждой точкѣ проволоки мѣняется чрезъ каждый полперіодъ. Узлы и пучности на проволокѣ изслѣдуются опять при помощи резонатора; если резонаторъ помѣщать вблизи нашей проволоки, то въ немъ вообще происходитъ искра, особенно яркая въ пучностяхъ; только, когда резонаторъ помѣщается надъ узломъ, въ немъ не бываетъ искры.

Представимъ себѣ теперь два опыта, сдѣланныхъ съ одними и тѣми же вибраторомъ и резонаторомъ, но одинъ разъ со стоячими электромагнитными волнами въ свободномъ воздухѣ, а другой разъ съ такими же волнами вдоль проволоки. Изслѣдуя тѣ и другія волны резонаторомъ, оказывается, что длины волнъ какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ одинаковы; но, понятно, и высоты волнъ въ обоихъ случаяхъ одинаковы; слѣд. скорости, съ которыми электромагнитныя волны распространяются въ свободномъ воздухѣ и вдоль проволоки тоже одинаковы, именно 3.10^{10} cm/sec. Итакъ вообще *электромагнитныя волны распространяются съ такою же скоростью, какъ и свѣтовыя волны.*

Изъ предыдущаго выясняется тождество между процессами распространенія электромагнитныхъ волнъ въ свободномъ изоляторѣ и въ проволокѣ; на первый взглядъ казалось бы, что между этими двумя явленіями нѣтъ ничего общаго; но, всматриваясь ближе, легко замѣтить, что тутъ нѣтъ принципіальной разницы и что въ послѣднемъ случаѣ электромагнитная волна распространяется тоже въ изоляторѣ, но лишь вдоль проводника; опыты именно по-

казываютъ, что длина волны на проволокѣ измѣняется съ окружающею средою и не измѣняется съ матеріаломъ проволоки.

12. *Электромагнитныя волны, какъ и свѣтовыя, преломляются при переходѣ изъ одной среды въ другую.* Если передъ отверстіемъ ящика съ вибраторомъ V (фиг. 10) помѣстить призму P, сдѣланную изъ изолятора (напр. парафина), то резонаторъ, помѣщенный на оси Vm, не откликается; для того, чтобы онъ откликался, его надо помѣстить въ R. Изъ подобнаго опыта можно опредѣлить показатель преломленія электрическихъ лучей.



Фиг. 10.

Наконецъ чечевица изъ парафина дѣйствуетъ на электрическіе лучи совершенно также, какъ стеклянная линза дѣйствуетъ на свѣтящіе лучи.

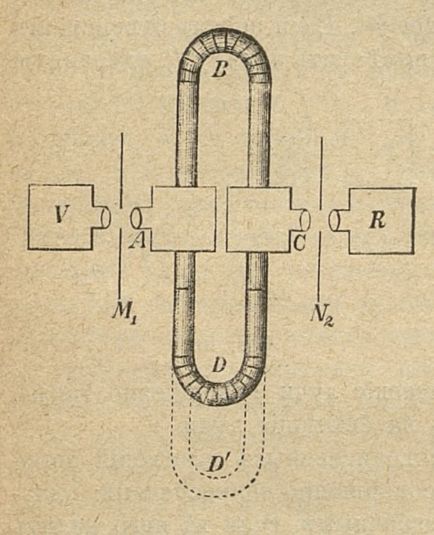
Извѣстно, что вслѣдствіе многочисленныхъ отраженій порошокъ мелко истолченнаго стекла совершенно непрозраченъ; однако, такой порошокъ дѣлается прозрачнымъ, если въ него налить канадскій бальзамъ, имѣющій такой же показатель преломленія, какъ стекло. Бозъ сдѣлалъ аналогичный электрическій опытъ: деревянный ящикъ, набитый неправильными кусками каучука, не пропускаетъ электрическихъ лучей; ящикъ становится однако прозрачнымъ для этихъ лучей, когда въ него наливаютъ керосинъ.

Можно вызвать и *полное отраженіе электрическихъ лучей*, если призму P взять прямоугольную и равностороннюю.

13. *Электрическія волны интерферируютъ совершенно также, какъ свѣтовыя или звуковыя волны.* Это явленіе мы уже въ сущности имѣли выше, именно при образованіи стоячихъ волнъ, но и всѣ извѣстные опыты интерференціи волнъ можно здѣсь воспроизвести: можно осуществить опыты съ зеркалами Френеля, или съ зеркалами Майкельсона, наконецъ опыты съ трубкою Квинке. Мы опишемъ только послѣдній опытъ.

Жестяная трубка AC (фиг. 11) раздѣляется посрединѣ на двѣ вѣтви B и D, изъ коихъ одна можетъ удлиняться; ящикъ съ вибраторомъ V ставится передъ однимъ концомъ A этой трубки, ящикъ съ резонаторомъ R—передъ другимъ концомъ трубки, C; между ящиками и концами трубки помѣщаютъ еще металлическіе листы M и N съ отверстіями. Положимъ сначала, что обѣ вѣтви трубки, B и D, одинаковой длины; тогда высылаемая виб-

раторомъ электромагнитная волна, войдя въ трубку, сперва дѣлится на двѣ части, которыя проходятъ по трубкамъ B и D и вновь сходятся съ одинакими фазами; все происходитъ такъ, какъ еслибы волна и не раздѣлялась. Теперь будемъ выдвигать трубку D и такимъ образомъ удлинять путь для одной изъ частей волны; тогда мы заставимъ наши волны сходиться въ C съ разными фазами; если въ D' путь на $\lambda/2$ длиннѣе, чѣмъ въ D, то обѣ волны сходятся съ противоположными фазами и взаимно уничтожаются: резонаторъ не откликается.



фиг. 11.

Съ электрическими лучами можно, какъ показали опыты Трутона, воспроизвести явленіе тонкихъ пластинокъ, объясняемое интерференціею лучей.

14. Явленіе диффракціи тѣмъ легче осуществляется, чѣмъ длина волнъ больше; поэтому *подражаніе диффракціи при помощи электрическихъ лучей* не представляетъ никакого затрудненія. Воспроизводили какъ диффракцію отъ края безконечнаго экрана, такъ и отъ щели; Бозъ пополнилъ эти подражанія, устроивъ настоящія рѣшетки и пользуясь ими для опредѣленія длины электрическихъ волнъ.

15. Мы уже приняли, что *электрическія колебанія поперечны*. Въ этомъ легко удостовѣриться прямыми опытами.

Представимъ себѣ, что противъ вибратора, въ плоскости перпендикулярной къ его главной линіи помѣщается сплошной или разомкнутый резонаторъ, который располагаемъ сперва параллельно вибратору, а затѣмъ перпендикулярно къ нему; въ первомъ случаѣ резонаторъ откликается на вибраторъ, во второмъ не откликается. Если бы электрическій лучъ состоялъ изъ продольныхъ колебаній, то указанное измѣненіе положенія резонатора ни въ чемъ не измѣняло бы условій опыта, и мы не могли бы объяснить различія его результатовъ въ указанныхъ случаяхъ. Напротивъ того, допустивъ, что электрическій лучъ состоитъ изъ

поперечныхъ колебаній, предыдущій опытъ становится совершенно понятенъ: съ повертываніемъ резонатора (перпендикулярнаго лучу) мы измѣняемъ его направленіе относительно высылаемыхъ вибраторомъ электрическихъ колебаній; мы измѣняемъ такимъ образомъ одно изъ условій опыта, а потому естественно, что и самое явленіе измѣняется.

Другой опытъ, приводящій къ тому же заключенію, состоитъ въ слѣдующемъ: между параллельными вибраторомъ и резонаторомъ помѣстимъ проволочную рѣшетку такъ, чтобы плоскость ея была перпендикулярна къ главной линіи вибратора; резонаторъ откликается, если проволоки рѣшетки расположены перпендикулярно къ вибратору, и не дѣйствуетъ, если эти проволоки параллельны вибратору; въ первомъ случаѣ рѣшетка пропускаетъ чрезъ себя электрическія колебанія, во второмъ не пропускаетъ ихъ. Этотъ опытъ совершенно аналогиченъ тому, при помощи котораго въ оптикѣ доказывается, что колебанія, образующія свѣтящій лучъ, поперечны.

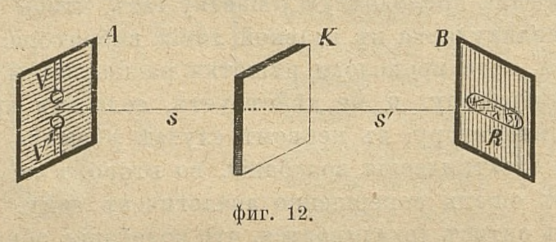
Только-что упомянутое дѣйствіе проволочной рѣшетки объясняется слѣдующимъ образомъ: металлъ не пропускаетъ электрическихъ колебаній, потому что онъ проводникъ; проволочная рѣшетка проводникъ только по одному направленію, именно по направленію своихъ проволокъ; слѣд. рѣшетка должна поглощать только колебанія параллельныя этому направленію и пропускать перпендикулярныя къ нему колебанія.

16. Электрическіе лучи всегда поляризованы, ибо состоятъ изъ колебаній параллельныхъ вибратору.

Легко подражать дѣйствію поляризатора, который, пропуская чрезъ себя уже поляризованный лучъ, измѣняетъ направленіе его плоскости поляризаціи; для этого употребляютъ проволочную рѣшетку, о которой сейчасъ говорили; какъ бы ни были поляризованы лучи, падающіе на такую рѣшетку, сзади нея распространяются лучи, состоящіе изъ колебаній перпендикулярныхъ къ ея проволокамъ. Поляризующая рѣшетка не имѣетъ аналогіи въ оптикѣ; ее можно лишь уподобить турмалину, поглощающему свѣтовыя колебанія опредѣленнаго направленія.

Не слѣдуетъ смѣшивать эту поляризующую рѣшетку съ диффракціонною рѣшеткою Боза; дѣйствія ихъ совершенно различны и это различіе обусловливается тѣмъ, что разстоянія между проволоками въ поляризующей рѣшеткѣ меньше, а въ диффракціонной больше длины волны.

17. *Электрическіе лучи, проходя чрезъ кристаллы, испытываютъ двойное преломленіе.* Бозъ сдѣлалъ такой опытъ: вибраторъ VV' (фиг. 12) былъ расположенъ вертикально и закрытъ горизонтальною рѣшеткою A; резонаторъ R былъ горизонталенъ и закрытъ вертикальною рѣшеткою B. Лучи s, высылаемые вибраторомъ, состояли изъ вертикальныхъ колебаній и свободно проходили чрезъ рѣшетку A, но вовсе не проходили чрезъ рѣшетку B. Когда же между вибраторомъ и резонаторомъ ставился кусокъ



фиг. 12.

кристалла K (берилъ) съ оптическою осью перпендикулярною къ s, то резонаторъ откликался; резонаторъ не дѣйствовалъ только тогда, когда оптическая ось кристалла была параллельна проволокамъ той или другой рѣшетки; резонаторъ не дѣйствовалъ и въ томъ случаѣ, когда кристаллическая пластинка была перпендикулярная.

Описанный опытъ совершенно аналогиченъ тому, при помощи котораго въ оптикѣ открывается слабая двупреломляемость тѣлъ.

18. Длинный рядъ приведенныхъ опытовъ доказываетъ полную аналогію свѣтящихъ лучей съ электрическими; эти послѣдніе, если бы ихъ періодъ былъ еще въ милліонъ разъ меньше, не отличались бы ничѣмъ отъ свѣтящихъ. Герцевскіе лучи отличаются отъ инфракрасныхъ лучей не больше, чѣмъ эти послѣдніе отъ свѣтящихъ [1]).

Можно было бы замѣтить лишь одно: свѣтящіе лучи дѣйствуютъ на глазъ, а электрическіе не дѣйствуютъ на него; но эта кажущаяся разница обусловливается не различіемъ въ природѣ тѣхъ и другихъ лучей, а ограниченностью способности нашего глаза, который можно считать электрическимъ резонаторомъ, настроеннымъ на такую большую повторяемость колебаній, которая свойственна однимъ „свѣтящимъ" лучамъ.

---

[1]) См. *Физ. Обозр.* Т. 1, стр. 272.

Что же даетъ намъ электромагнитная теорія свѣта? Она даетъ новое объясненіе свѣту; по этой теоріи свѣтъ состоитъ не изъ механическихъ колебаній частицъ эѳира, какъ это утверждалось въ механической теоріи свѣта, созданной Френелемъ, а изъ электрическихъ колебаній внутри неподвижныхъ частицъ эѳира.

Жизнь матеріи

Ш. Гильома [1]).

Говорить о жизни матеріи можетъ показаться безсмысленнымъ. Не безжизненна-ли она по самому опредѣленію? А между тѣмъ вокругъ насъ все разрушается: камень вывѣтривается, стекло тускнѣетъ и разслаивается, металлы становятся хрупкими и наконецъ обращаются въ пыль.

Однако мы знаемъ, что каждый атомъ сохраняется, и мы не можемъ сказать, чтобы матерія умирала; опредѣленная же форма матеріи можетъ умереть; но прежде, чѣмъ умереть, она должна была жить. Такимъ образомъ мы понимаемъ жизнь матеріи, это медленное и непрерывное преобразованіе, совершающееся иногда вѣка, всегда—въ одномъ направленіи; преобразованіе, состоящее въ разрушеніи искусственной формы и въ стремленіи къ крайней формѣ, далѣе которой всякое внутреннее перемѣщеніе прекращается, къ кристаллической формѣ или къ безформенной пыли, въ достиженіи болѣе благородной формы или въ возвращеніи къ составнымъ элементамъ. Пока та или другая форма не достигнута, матерія живетъ и измѣняется; она, какъ всякій живой организмъ, преобразовывается, приспособляясь къ встрѣчаемымъ условіямъ, защищая свое существованіе подчасъ съ успѣхомъ и прекращая его въ данной формѣ, когда внѣшнія условія слишкомъ неблагопріятны.

Матерія едина, она живетъ, она видоизмѣняется, говорили герметисты; и это credo, побуждавшее искать философскій камень, руководило алхиміею въ теченіе долгихъ вѣковъ. При своемъ возникновеніи химія осудила это вѣрованіе; она считала эле-

---

[1]) Переводъ съ французскаго: *Ch. Ed. Guillaume*, La vie de la matière.

менты существенно различными созданіями и ихъ взаимное превращеніе—за абсолютную невозможность. Теперь мы менѣе въ этомъ увѣрены; и если взаимное превращеніе элементовъ еще считается за операцію, которая свыше нашихъ средствъ, то мы не далеки отъ допущенія, что переходъ одного элемента въ другой возможенъ.

Остановимся нѣсколько на принципѣ единства вещества. Неопредѣленное вѣрованіе алхимиковъ, слабо обоснованная идея въ головахъ большинства ихъ приверженцевъ, она не такъ далека отъ результатовъ опыта, какъ это принято думать. Какъ объяснить очевидное родство химическихъ элементовъ, если не допустить общаго родоначальника? Все говоритъ намъ, что элементы образуютъ семейства и мы бы отрицали очевидность, если бы стали утверждать, что они вполнѣ различны; но этого мало; есть одно свойство — ихъ ньютоновская постоянная, по которому они всѣ тождественны; эта постоянная — наиболѣе важная изъ постоянныхъ природы — одна и та же для всѣхъ тѣлъ, какого бы рода они ни были, въ какомъ бы химическомъ или физическомъ состояніи они ни находились. Если бы взаимное притяженіе тѣлъ было единственнымъ ихъ свойствомъ, доступнымъ нашему наблюденію, то всѣ тѣла представлялись бы намъ тождественными.

Законъ Ньютона не всегда хорошо понимается; долгая привычка, вслѣдствіе которой мы легко смѣшиваемъ *вѣсъ* съ *массою*, заставляетъ насъ считать первый законъ за простое опредѣленіе. Но масса есть то, чтó, пріобрѣтая скорость, поглощаетъ дѣйствіе силы и работу послѣдней преобразуетъ въ эквивалентную кинетическую энергію. Тотъ фактъ, что двѣ массы устремляются одна къ другой съ одинакими ускореніями, показываетъ, что всѣ тѣла обладаютъ однимъ притяженіемъ; въ принципѣ могло казаться, что эти силы независимы отъ массъ; но въ дѣйствительности онѣ имъ пропорціональны. Этотъ законъ чисто опытный; и для его установленія нужны были изслѣдованія Ньютона, подтвержденныя потомъ Бесселемъ.

Но если тѣла конечныхъ размѣровъ обладаютъ совершенно различными качествами и однимъ общимъ, то это значитъ, что ихъ послѣднія частички обладаютъ этимъ общимъ качествомъ, которое аддитивно; иначе говоря, эти послѣднія частички, меньшія химическихъ атомовъ, подобны между собою.

Съ другой стороны удивительныя изслѣдованія, сдѣланныя

въ послѣдніе годы, придаютъ вѣроятность мысли, что электрическими разрядами въ газахъ удалось раздробить химическій атомъ; и сложность атома, которую лишь подозрѣвали, повидимому стала осязаемою реальностью. Эти субъ-атомы (которые, казалось уже, могутъ быть выдѣлены) или еще меньшія частички не суть-ли первичные элементы матеріи? Образуя видимыя тѣла, эти частички сообщаютъ имъ то единственное аддитивное свойство, о которомъ мы говорили выше. Послѣ этого первая половина закона Ньютона есть лишь выраженіе того факта, по которому притягательныя силы, обусловливаемыя однѣми массами, дѣйствуютъ чрезъ всѣ экраны, не ослабляясь.

Если это такъ, если мы не ошибаемся, утверждая, что атомъ можно раздѣлить на подобные элементы, каково бы ни было вещество, изъ котораго онъ происходитъ, то мы уже очень близки къ мечтамъ алхимиковъ.

Однако мы не будемъ заниматься этою эволюціею, не будемъ даже разсматривать вопроса о ея возможности. Если наблюденныя явленія и были правильно истолкованы, то достовѣрно, что изъ этихъ раздробленныхъ атомовъ до сихъ поръ не удалось составить замѣтнаго количества иного вещества, чѣмъ начальное. Утверждать противное значило бы вступить въ область фантазіи; но все-таки очень интересно изучать матерію, если даже не сходить съ твердой почвы опыта и добытыхъ результатовъ.

Хотя и увлекательно изучать жизнь матеріи въ различныхъ ея видахъ, однако это не можетъ быть цѣлью; это прежде всего средство. Не есть-ли самая глубокая тайна жизнь у органическаго существа? Эта тайна столь глубока, что величайшіе ученые предостерегали человѣчество отъ попытокъ проникнуть въ нее. Но чудныя открытія, слѣдующія безъ перерыва одно за другимъ, внушаютъ бóльшую увѣренность въ отдаленное будущее науки. Теперь кажется, что нѣтъ абсолютно неразрѣшимыхъ задачъ. А если такъ, если всякая научная задача, представляющаяся нашему уму, рано или поздно должна найти свое рѣшеніе, можетъ-ли быть что-нибудь больше и возвышеннѣе какъ задача о жизни?

Взяться за нее прямо, во всей ея неизмѣримой сложности, было бы дѣломъ слишкомъ смѣлымъ. Можетъ быть мы встрѣтимъ меньшія трудности, начавъ съ окраинъ задачи; и если есть этапъ, который долженъ насъ подготовить къ пониманію состав-

ныхъ частей этой задачи, такъ это безъ сомнѣнія изученіе жизни въ неодушевленной матеріи.

Прежде, чѣмъ современные сильные микроскопы позволили объяснить измѣненія органической матеріи подъ дѣйствіемъ микроорганизмовъ, извѣстно было лишь объ общихъ измѣненіяхъ, которыя всегда оставались очень загадочными. Извѣстны были броженіе, гніеніе и усвоеніе азота растеніями; наблюдали ихъ развитіе, но приходилось ограничиваться догадками о томъ, какъ происходятъ эти превращенія.

Ограниченный свидѣтельствомъ своихъ чувствъ человѣкъ былъ въ этомъ столь же плохо освѣдомленъ, какъ и великанъ въ тысячи километровъ ростомъ, который видѣлъ бы, что въ извѣстныя эпохи года часть земного шара зеленѣетъ, затѣмъ желтѣетъ и наконецъ бѣлѣетъ, но который, благодаря своимъ размѣрамъ, никогда бы не зналъ о существованіи деревьевъ, травы и снѣга; онъ видитъ маленькое пятнышко, коего не замѣчалъ тысячу лѣтъ тому назадъ, и спрашиваетъ себя какъ оно могло возникнуть само собою, безъ видимой причины; дѣло въ томъ, что въ теченіе этихъ тысячи лѣтъ люди трудились и выстроили городъ. Вооруженный микроскопомъ, приспособленнымъ къ его росту, нашъ великанъ пожалуй дойдетъ до того, что увидитъ деревья, дома, наконецъ людей; тогда все станетъ для него понятнымъ; онъ узнаетъ какъ непрерывнымъ трудомъ микробовъ городъ расширился и мало-по-малу измѣнилъ поверхность земли. Подобнымъ же образомъ объяснилось для насъ броженіе—великое дѣло микроорганизмовъ, для которыхъ атомъ то же, что для насъ песчинка, клѣточка то же, что для насъ домъ; микроорганизмъ и клѣточка—этотъ послѣдній элементъ живой матеріи—относятся между собою какъ равный къ равному.

Подобныя же тайны были разъяснены, когда стали примѣнять микроскопъ къ изученію инертной матеріи. Медленныя измѣненія, относительно которыхъ прежде ограничивались однимъ лишь констатированіемъ, были разчленены, познаны въ ихъ крайнихъ элементахъ—если не въ частицѣ, которая навсегда останется невидимою, то въ кристаллѣ, образующемъ составную часть матеріи.

Мнѣ было бы трудно сказать, кому принадлежитъ честь перваго примѣненія микроскопа къ изученію кристаллическаго строенія металловъ; но я могу назвать тѣхъ, которые имѣли наиболь-

шій успѣхъ въ этихъ изслѣдованіяхъ; это сэръ Робертсъ-Аустенъ, Осмондъ, Стидъ, Гилеменъ и Шарпи.

Какъ дѣйствуетъ теплота на *кованную* латунь, переводя ее въ состояніе *отожженной* латуни? Это тайна, говорила старая физика. Современная физика знаетъ, что *кованная* латунь состоитъ изъ мелкихъ кристалловъ, раздробленныхъ и перемѣшанныхъ съ безформенною массою, которую они вполнѣ проникаютъ. Въ *отожженной* латунѣ, наоборотъ, кристаллики возстановлены и отдѣлены отъ массы; они сравнительно тверды, а окружающая ихъ масса пластична; понятно, что эти кристаллики не могли образоваться иначе, какъ вслѣдствіе перемѣщеній частицъ внутри металла, перемѣщеній, которыя не одного порядка съ молекулярными размѣрами, какъ въ тепловомъ движеніи, а гораздо бо́льшихъ, достигающихъ сотыхъ и десятыхъ долей миллиметра.

Когда кристаллики вполнѣ сформируются на счетъ окружающей матеріи, отжигъ готовъ—металлъ достигаетъ неизмѣняемой формы и перестаетъ жить.

Можно изолировать эти кристаллики и изслѣдовать ихъ; оказывается, что они имѣютъ простой химическій составъ; это опредѣленныя соединенія мѣди и цинка или мѣди и олова. Эти соединенія, наилучшимъ образомъ соотвѣтствующія наличному сродству, создаются движеніями частицъ, обусловливаемыми теплотою.

Каковы предѣлы подвижности частицъ въ твердомъ тѣлѣ? Они гораздо значительнѣе, чѣмъ обыкновенно предполагаютъ; это доказываетъ одинъ замѣчательный опытъ Робертсъ-Аустена: поставивъ маленькій свинцовый цилиндръ на золотую пластинку, онъ нашелъ золото на самомъ верху цилиндра; прикосновеніе продолжалось тѣмъ больше, чѣмъ ниже была температура; при 100° опытъ продолжался 41 день; подъ конецъ этого времени золото диффундировало на нѣсколько миллиметровъ въ свинецъ.

Тому, кто не предупрежденъ, этотъ опытъ кажется невѣроятнымъ; а между тѣмъ мы знаемъ, что въ соприкосновеніи съ докрасна раскаленнымъ углемъ желѣзо цементируется; химическій и микроскопическій анализы показываютъ, что при этомъ уголь проникаетъ въ желѣзо, иногда на значительную глубину. Здѣсь дѣйствуютъ однѣ молекулярныя силы; но если ихъ замѣнить внѣшними силами, можно получить бо́льшій эффектъ. Такъ изъ прекрасныхъ опытовъ Спринга[1]) извѣстно, что, когда мѣдь и олово

---

[1]) См. стр. 25.

прижимаются чистыми поверхностями, они спаиваются и по обѣ стороны поверхности соприкосновенія получается бронза.

Спрингу удалось однимъ давленіемъ соединить металлическіе порошки такъ же совершенно, какъ плавленіемъ. Многочисленными опытами онъ доказалъ, что давленіемъ могутъ спаиваться только тѣ металлы, которые способны диффундировать одинъ въ другой.

Кромѣ давленія другія силы могутъ благопріятствовать молекулярнымъ движеніямъ. Такъ напр. Варбургъ погружалъ пробирку со ртутью или съ сѣрною кислотою въ натріевую амальгаму и пропускалъ электрическій токъ снаружи внутрь; оказалось, что по истеченіи нѣкотораго времени *натрій проходилъ* чрезъ *стекло* электролизомъ и растворялся въ жидкости, наполнявшей пробирку; опыту благопріятствуетъ повышеніе температуры, но онъ удается и безъ того. Если стекло содержитъ натрій, чрезъ него можно заставить пройти меньшія частицы, напр. частицы литія: прежде всего изъ стекла вытѣсняется натрій, который замѣщается литіемъ; при дальнѣйшемъ электролизѣ литій появляется у второй поверхности и постоянно пополняется извнѣ; вмѣстѣ съ тѣмъ стекло принимаетъ молочный цвѣтъ; твердость и плотность его уменьшаются.

Можно было бы увеличить число примѣровъ; приведенные вполнѣ убѣждаютъ насъ, что въ твердыхъ тѣлахъ перемѣщенія частицъ могутъ быть значительны и измѣряться не сотыми долями миллиметра, какъ въ нашемъ первомъ примѣрѣ, но цѣлыми миллиметрами и даже центиметрами.

Установивъ твердо эти элементарные факты, мы можемъ обратиться къ изученію болѣе сложныхъ явленій.

Подвергнемъ растяженію стальной брусокъ, столь значительному, чтобы вызвать разрывъ. Прежде всего въ одномъ мѣстѣ бруска образуется суженіе; здѣсь-то и произойдетъ разрывъ. Но, какъ только образуется замѣтное суженіе, прекратимъ растягиваніе и, обточивъ брусокъ такъ, чтобы онъ всюду имѣлъ одну толщину, станемъ снова его растягивать; опять увидимъ образованіе суженія, но въ иномъ мѣстѣ, чѣмъ въ первый разъ. Такую операцію можно повторять нѣсколько разъ; суженіе каждый разъ образуется въ новомъ мѣстѣ. Не слѣдуетъ-ли отсюда заключить что тамъ, гдѣ брусокъ слишкомъ утоньчается, металлъ крѣпнетъ, сопротивляясь разрушенію?

Нѣкоторые сплавы обладаютъ указаннымъ свойствомъ въ

особенно значительной степени. Такъ напр. никкелистая сталь существуетъ въ двухъ совершенно различныхъ состояніяхъ; въ одномъ она немагнитна, малой твердости и очень ковка; въ другомъ она тверда, хрупка и способна намагничиваться. Предѣлъ упругости и разрывающій грузъ во второмъ состояніи гораздо больше, чѣмъ въ первомъ. Впрочемъ если брусокъ перваго сплава подвергнуть энергичному растяженію, онъ значительно удлиняется, иногда вдвое, затѣмъ прямо разрывается безъ суженія; этотъ металлъ, который сначала былъ въ мягкомъ состояніи, послѣ нашего опыта принимаетъ видъ закаленнаго металла.

Въ общемъ эта трансформація объясняется просто. Въ тотъ моментъ, когда образуется первое суженіе, сплавъ твердѣетъ въ этомъ мѣстѣ, дѣлается тутъ менѣе ковкимъ и перестаетъ сжиматься; суженіе образуется въ другомъ слабомъ мѣстѣ, затѣмъ въ третьемъ, такъ что сѣченіе вѣроятнаго разрыва перемѣщается изъ конца въ конецъ бруска, пока не произойдетъ повсюду полная трансформація. Такимъ образомъ брусокъ истощаетъ всѣ свои средства самозащиты и прекращаетъ борьбу лишь послѣ героическаго сопротивленія.

Впрочемъ эти никкелистыя стали представляютъ чрезвычайно странныя явленія. Подъ дѣйствіемъ сильнаго холода брусокъ въ метръ длины въ теченіе немногихъ секундъ удлиняется на нѣсколько десятыхъ миллиметра; наблюдая это явленіе въ первый разъ, получаешь впечатлѣніе какъ будто инертное тѣло внезапно оживаетъ.

Если измѣнить внѣшнія условія (температуру, а можетъ быть и давленіе), то эти сплавы измѣняютъ свое химическое строеніе, въ одной части быстро, въ другой меньшей части медленно; такимъ образомъ бруски нѣкоторыхъ сортовъ никкелистой стали измѣняютъ свою длину постепенно въ теченіе болѣе года. Данной температурѣ соотвѣтствуетъ опредѣленное состояніе сплава, къ которому онъ медленно приближается.

Многія тѣла представляютъ нѣчто аналогичное. Стекло подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ медленно сгибается и затѣмъ его сгибаніе прекращается; образующія его химическія соединенія измѣняются такъ, что приспособляются къ данному давленію; а когда это давленіе устраняется, стекло медленно возвращается къ первоначальной формѣ постепеннымъ возстановленіемъ прежнихъ соединеній. Стекло, совсѣмъ какъ живой организмъ, приспособляется къ внѣшнимъ условіямъ.

Оптическія явленія представляютъ многочисленные примѣры „приспособленія". Возьмемъ фосфоресцирующія тѣла. Извѣстно, что всѣ эти тѣла суть *твердые растворы* малаго количества посторонняго вещества въ другомъ веществѣ, обыкновенно сложномъ. Подъ дѣйствіемъ свѣта соединенія измѣняются; но, какъ только внѣшнее дѣйствіе прекращается, законный порядокъ вещей вступаетъ въ свои права и прежнее соединеніе возстановляется иногда быстро, но чаще чрезвычайно медленно; возстановляющееся тѣло при этомъ испускаетъ свѣтъ.

Впрочемъ соединеніе, образовавшееся подъ дѣйствіемъ свѣта, обыкновенно сохраняется въ небольшой части тѣла и при новыхъ условіяхъ; такимъ образомъ возстановленіе прекращается немного раньше, чѣмъ достигается окончательное равновѣсіе. Нѣкоторыя „незаконныя связи", такъ сказать, терпимы въ этомъ сборищѣ и могутъ поддерживаться безконечно долго. Но если такое тѣло мы освѣтимъ красными или инфракрасными лучами, то тотчасъ же замѣтимъ отдѣленіе слабаго свѣта, обусловливаемое бурнымъ изгнаніемъ частицъ, нарушавшихъ „общественный порядокъ", и замѣною ихъ законными частицами; послѣ этого равновѣсіе окончательно возстановлено.

Выражаясь научнымъ языкомъ, мы скажемъ, что физико-химическое равновѣсіе фосфоресцирующихъ тѣлъ есть функція получаемаго ими свѣта, но, что эта функція зависитъ еще отъ тренія. Возбуждающій свѣтъ дѣйствуетъ также, какъ бы дѣйствовали толчки на кучу песка, уничтожая вліяніе тренія.

Съ извѣстной точки зрѣнія фосфоресцирующія тѣла изображаютъ соціальный организмъ. Но самый замѣчательный примѣръ подобнаго рода представляетъ цвѣтная фотографія, сдѣланная по способу Беккереля. Пусть хлористое серебро—бѣлое вещество—освѣщается лучами опредѣленнаго цвѣта, напр. красными; чрезъ нѣкоторое время наше вещество само принимаетъ красный цвѣтъ. Если теперь его освѣтить зелеными лучами, оно мѣняетъ цвѣтъ: проходитъ чрезъ тусклые и грязные оттѣнки и наконецъ окрашивается въ зеленый цвѣтъ.

Что происходитъ при этомъ въ нашемъ тѣлѣ? Извѣстно, что цвѣтъ пигмента указываетъ только природу тѣхъ лучей, которые онъ отражаетъ и которые слѣд. не проникаютъ въ него. Когда красные лучи падаютъ на хлористое серебро, послѣднее ихъ поглощаетъ и—подъ вліяніемъ этого источника внѣшней энергіи—трансформируется, проходя чрезъ всѣ возможныя состоянія, кото-

рыя оно способно принять; но если въ одномъ изъ этихъ состояній наше вещество дѣлается краснымъ, тогда оно отбрасываетъ отъ себя красные лучи, послѣ чего его ничто болѣе не безпокоитъ и оно сохраняетъ это состояніе. То же самое повторяется, когда хлористое серебро освѣщается лучами другого цвѣта.

Итакъ хлористое серебро, защищаясь, трансформируется такъ, чтобы лучше предохранить себя отъ внѣшнихъ нападеній. Свѣтъ для хлористаго серебра есть врагъ, и оно безъ устали измѣняетъ свою систему защиты, чтобы не быть безпрерывно тревожимо на своихъ границахъ; оно воздвигаетъ укрѣпленія, принаровленныя къ силамъ противника, и всегда готово его отразить. Не представляетъ-ли все это картину благоустроеннаго соціальнаго общества?

Мы уже очень близки къ физіологическимъ задачамъ; хлористое серебро не только даетъ отдаленную картину инстинктивной жизни, но трансформаціи и измѣненія цвѣтовъ, которыя оно испытываетъ подъ вліяніемъ свѣта, имѣютъ поразительную аналогію съ подобными же измѣненіями веществъ, играющими въ живыхъ организмахъ столь важную роль. Достаточно упомянуть хлорофилъ, кожный пигментъ (особенно развитый у негровъ) и зрительный пурпуръ, въ которыхъ нельзя не признать совершенной приспособляемости къ обстоятельствамъ жизни на землѣ, предъявленнымъ имъ природою солнечнаго свѣта.

Небольшое отступленіе уяснитъ аналогію. На первый взглядъ можетъ показаться страннымъ, что негры, непрерывно подвергающіеся лучамъ жгучаго солнца, окрашены въ черный цвѣтъ, наиболѣе поглощающій лучи и долженствующій дѣлать для нихъ эти лучи особенно невыносимыми. Но, вглядываясь ближе въ дѣло, приходимъ къ заключенію, что здѣсь нѣтъ ошибки со стороны природы. Извѣстно, что люди, пріѣзжающіе на югъ, начинаютъ свободно переносить солнце, только тогда, когда кожа ихъ загоритъ и потемнѣетъ. Обобщая это наблюденіе, Моссо нашелъ, что въ горахъ всего легче переносить солнце, вымазавъ себѣ лицо сажею, т. е. сдѣлавшись искусственнымъ негромъ. Причина тому очень простая: отъ лучей страдаетъ соединительно-тканевая основа кожи (derme) особенно, когда въ нее проникаютъ лучи короткихъ волнъ; вотъ почему альбиносы чрезвычайно чувствительны къ этимъ лучамъ; прежде всего нужно защитить дерму отъ ультрафіолетовыхъ лучей, что и дѣлаетъ черный пигментъ негровъ. Что же касается зрительнаго пурпура, который откры-

ваетъ намъ формы, но не краски, и который благодаря своей удивительной чувствительности позволяетъ видѣть въ полутьмѣ, то онъ обладаетъ наибольшею поглощающею способностью, а потому и наибольшею чувствительностью именно въ той области спектра, въ которой энергія наибольшая; иначе говоря, зрительный пурпуръ возможно лучшимъ способомъ пользуется бѣлымъ свѣтомъ; къ этому свѣту онъ приспособленъ.

Мы удалились отъ жизни матеріи, въ томъ видѣ, какъ мы ее условились понимать съ самаго начала. Однако тотъ фактъ, что мы незамѣтнымъ образомъ и нигдѣ не встрѣчая перерыва могли перейти отъ неорганической матеріи, взятой въ отдѣльности, къ роли, которую она играетъ въ живомъ существѣ, показываетъ намъ, что не будетъ слишкомъ смѣлымъ опираться на сравнительно простыя свойства инертной матеріи для уясненія тѣхъ явленій, которыя представляетъ живая матерія.

Но пора кончить! Найдутся, пожалуй, смѣлые умы, увлекающіеся отдаленными перспективами, которые, пренебрегая трудностями и многимъ еще неизвѣстнымъ, захотятъ перебросить мостъ и усмотрѣть дѣйствительную непрерывность между явленіями неорганической матеріи и живой клѣточки; можетъ быть, когда-нибудь этотъ мостъ и будетъ построенъ; но перекидывать его теперь же значило бы черезчуръ спѣшить.

Не будемъ опережать данныхъ опыта, будемъ терпѣливо ждать и предоставимъ идею ея медленному, но вѣрному развитію на пути къ совершенству. Можетъ быть, въ отдаленномъ будущемъ найдутся болѣе тѣсныя связи, которыя позволятъ сдѣлать болѣе смѣлыя заключенія. Но не будемъ упускать изъ вида нашу исходную точку и пока ограничимся разсмотрѣніемъ превращеній матеріи, какъ ея внутреннюю жизнь, чтобы впослѣдствіи лучше ихъ понять и примѣнить къ изученію настоящей жизни.

Наукѣ слѣдуетъ быть искреннею и жить надеждою; человѣкъ науки не долженъ утверждать больше, чѣмъ онъ можетъ доказать; иначе онъ сыгралъ бы въ руку тѣхъ невѣждъ, которые говорятъ, что наука не оправдываетъ своего назначенія.

Физическій классъ.

1. Нѣсколько теоремъ о среднихъ величинахъ періодическихъ функцій за цѣлое число періодовъ.

А. Л. Королькова.

Въ вопросахъ физики, касающихся волнообразнаго движенія, перемѣнныхъ токовъ и другихъ періодическихъ явленій, весьма полезно знать среднія величины *за цѣлое число періодовъ* нѣкоторыхъ періодическихъ функцій. Знаніе этихъ среднихъ величинъ не отвлекаетъ вниманіе отъ физическаго вопроса въ сторону математическихъ выкладокъ.

1. Среднее значеніе $\operatorname{Sin} x$ и $\operatorname{Cos} x$ за одинъ или нѣсколько цѣлыхъ періодовъ равно нулю, потому что всякому положительному значенію $\operatorname{Sin} x$ соотвѣтствуетъ за цѣлый періодъ такое же по абсолютной величинѣ отрицательное значеніе $\operatorname{Sin} x$:

$$\text{Ср.}(\operatorname{Sin} x) = \text{Ср.}(\operatorname{Cos} x) = 0.$$

2. Среднее значеніе $\operatorname{Sin}^2 x$ и равное ему среднее значеніе $\operatorname{Cos}^2 x$ (я не буду дальше повторять, что дѣло идетъ о среднемъ значеніи за *цѣлое* число полныхъ періодовъ) равно 1/2; такъ какъ

$$\text{Ср.}(\operatorname{Sin}^2 x) = \text{Ср.}(\operatorname{Cos}^2 x),$$

то

$$\text{Ср.}(\operatorname{Sin}^2 x + \operatorname{Cos}^2 x) = \text{Ср.}(\operatorname{Sin}^2 x) + \text{Ср.}(\operatorname{Cos}^2 x) = 1;$$

слѣдовательно

$$\text{Ср.}(\operatorname{Sin}^2 x) = \text{Ср.}(\operatorname{Cos}^2 x) = \frac{1}{2}.$$

3. Среднее значеніе $\operatorname{Sin} x \operatorname{Sin}(x-\varphi)$ равно $\operatorname{Cos}\varphi/2$, если φ есть постоянная величина. Въ самомъ дѣлѣ:

$$\operatorname{Sin} x \operatorname{Sin}(x-\varphi) = \operatorname{Sin}^2 x \operatorname{Cos}\varphi - \operatorname{Sin} x \operatorname{Cos} x \operatorname{Sin}\varphi =$$

$$= \operatorname{Sin}^2 x \operatorname{Cos}\varphi - \frac{1}{2} \operatorname{Sin} 2x \operatorname{Sin}\varphi,$$

слѣдовательно

$$\text{Ср.}\,[\operatorname{Sin} x \operatorname{Sin}(x-\varphi)] =$$

$$= \operatorname{Cos}\varphi\, \text{Ср.}\,(\operatorname{Sin}^2 x) - \frac{\operatorname{Sin}\varphi}{2}\, \text{Ср.}\,(\operatorname{Sin} 2x) = \frac{1}{2}\operatorname{Cos}\varphi.$$

Примѣры: 1) Найдемъ среднюю живую силу колебательнаго движенія частицы, скорость v которой измѣняется по закону синуса:

$$v = v_0 \operatorname{Sin} x = \frac{2\pi A}{T} \operatorname{Sin} 2\pi \frac{t}{T}.$$

Пусть масса колеблющейся частицы есть m; тогда

$$\text{Ср.}\left(\frac{mv^2}{2}\right) = \frac{mv_0{}^2}{2}\, \text{Ср.}\,(\operatorname{Sin}^2 x) = \frac{mv_0{}^2}{4} = \frac{m\pi^2 A^2}{T^2}.$$

2) Пусть токъ измѣняется по закону синуса:

$$i = I_0 \operatorname{Sin} x.$$

Найдемъ его среднее квадратическое значеніе I (эффективную силу тока):

$$I = \sqrt{\text{Ср.}\,(i^2)} = I_0\sqrt{\text{Ср.}\,(\operatorname{Sin}^2 x)} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707\, I_0.$$

Слѣдовательно эффективная сила синусоидальнаго тока равна наибольшему значенію силы тока, умноженному на $1/\sqrt{2}$.

3) Точно также средняя эффективная разность потенціаловъ E равна наибольшему значенію E_0 этой разности, умноженному на $1/\sqrt{2}$.

4) Найдемъ среднее значеніе мощности тока i, производимаго разностью потенціаловъ e. Обѣ величины i и e пусть измѣняются по закону синуса, и сила тока запаздываетъ на нѣкоторую величину, характеризуемую постоянною разностью фазъ φ:

$$e = E_0 \operatorname{Sin} x, \quad i = I_0 \operatorname{Sin}(x-\varphi);$$

тогда средняя мощность будетъ

$$W = \text{Ср.}\,(ei) = E_0 I_0\, \text{Ср.}\,[\operatorname{Sin} x \operatorname{Sin}(x-\varphi)] = \frac{E_0 I_0 \operatorname{Cos}\varphi}{2} = EI \operatorname{Cos}\varphi.$$

---

2. Нѣсколько теоремъ о наибольшихъ и наименьшихъ величинахъ, имѣющихъ значеніе въ физикѣ.

А. Л. Королькова.

Двѣ нижеуказанныя теоремы облегчаютъ и, главное, ускоряютъ изслѣдованіе многихъ физическихъ вопросовъ.

1. *Если произведеніе двухъ положительныхъ перемѣнныхъ величинъ x и y постоянно, то сумма этихъ величинъ имѣетъ наименьшее значеніе, когда обѣ онѣ равны между собою.* Пусть

$$xy = A;$$

тогда можемъ написать:

$$(x+y)^2 = x^2+2xy+y^2 = 4A+(x^2-2xy+y^2) = 4A+(x-y)^2.$$

Отсюда видно, что $(x+y)^2$, а слѣд. и $x+y$ получитъ наименьшую величину, когда $(x-y)^2 = 0$, т. е. когда $x = y$.

2. *Если сумма двухъ положительныхъ перемѣнныхъ величинъ x и y постоянна, то произведеніе этихъ величинъ имѣетъ наибольшее значеніе, когда обѣ онѣ одинаковы.* Пусть

$$x+y = B,$$

откуда, возводя въ квадратъ, можемъ написать:

$$4xy = B^2-x^2+2xy-y^2 = B^2-(x-y)^2.$$

Отсюда видно, что правая часть равенства, а потому и произведеніе xy получитъ наибольшее значеніе, когда вычитаемое $(x-y)^2 = 0$, т. е. когда $x = y$.

Примѣры. Сила тока i батареи, состоящей изъ n параллельныхъ группъ, составленныхъ каждая изъ соединенныхъ послѣдовательно m элементовъ, выражается слѣдующимъ образомъ:

$$i = \frac{me}{(m\rho/n)+R} = \frac{mne}{m\rho+nR},$$

гдѣ e есть электродвижущая сила элемента, ρ—его сопротивленіе и R—внѣшнее сопротивленіе; величина mn есть полное число элементовъ, которое мы обозначимъ N:

$$i = \frac{Ne}{m\rho + nR}.$$

Знаменатель этой дроби есть сумма двухъ перемѣнныхъ величинъ $m\rho$ и nR, произведеніе которыхъ постоянно ($\rho Rmn = \rho RN$), а потому знаменатель получитъ наименьшее значеніе при $m\rho = nR$ или при

$$R = \frac{m}{n}\rho.$$

Но $m\rho/n$ есть сопротивленіе батареи и R сопротивленіе внѣшней цѣпи; такъ какъ числитель дроби, выражающей силу тока, есть постоянная величина (Ne), то сила тока получитъ наибольшее значеніе при равенствѣ внутренняго и внѣшняго сопротивленія.

2. Сила I перемѣннаго синусоидальнаго тока выражается въ зависимости отъ коэффиціента самоиндукціи цѣпи (L), сопротивленія (r), электродвижущей силы (E) и числа періодовъ въ секунду (n) такимъ образомъ:

$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}}.$$

Косинусъ разности фазъ φ между силою тока и электродвижущею силою выражается отношеніемъ сопротивленія (r) къ кажущемуся сопротивленію $\left(\sqrt{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}\right)$:

$$\operatorname{Cos}\varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}}.$$

Мощность тока представится такъ:

$$W = EI \operatorname{Cos}\varphi = \frac{E^2 r}{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2} = \frac{E^2}{r + (4\pi^2 n^2 L^2/r)}.$$

Оба слагаемыхъ въ знаменателѣ послѣдняго выраженія имѣютъ постоянное произведеніе ($4\pi^2 n^2 L$), а потому сумма ихъ имѣетъ наименьшее значеніе при равенствѣ слагаемыхъ $r = 4\pi^2 n^2 L^2/r$ или

$$r = 2\pi n L.$$

Очевидно, что при этомъ условіи мощность тока (W) достигаетъ наибольшаго значенія (ибо E постоянно).

Итакъ, при постоянной электродвижущей силѣ перемѣнный токъ обладаетъ наибольшею мощностью при равенствѣ омическаго сопротивленія (r) и индукціоннаго сопротивленія ($2\pi n L$).

3. Роторъ многофазнаго двигателя имѣетъ моментъ вращенія

$$M = K\frac{2\pi n r}{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2},$$

гдѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и въ предыдущей задачѣ, только n обозначаетъ разность между числомъ періодовъ тока и числомъ оборотовъ ротора въ секунду. Раздѣляя числитель и знаменатель на $2\pi nr$, имѣемъ

$$M = K\frac{1}{(r/2\pi n) + (2\pi L^2 n/r)}.$$

Здѣсь произведеніе слагаемыхъ въ знаменателѣ постоянно, а потому наибольшее значеніе момента M получится при $r/2\pi n = 2\pi L^2 n/r$ или при

$$n = \frac{r}{2\pi L}.$$

4. Ежегодные расходы по содержанію электрической сѣти слагаются изъ трехъ частей: 1) изъ процентовъ A на капиталъ, затраченный на такія части устройства, которыя не зависятъ отъ размѣровъ установки (покупка земли, земляныя работы, администрація и т. п.); 2) изъ процентовъ на капиталъ, который пропорціоналенъ расходуемому току (т. е. затраченъ на провода, на покупку машинъ, на постройку зданій), и, слѣдовательно, пропорціоналенъ сѣченію x проводовъ; обозначимъ этотъ расходъ чрезъ Bx; 3) изъ ежегодной затраты на безполезное нагрѣваніе проводовъ, которая обратно-пропорціональна сѣченію x проводовъ; обозначимъ этотъ расходъ черезъ C/x.

Тогда полный годичный расходъ установки представится суммою $A+Bx+C/x$. Это выраженіе получитъ наименьшее значеніе тогда, когда перемѣнная сумма $Bx+C/x$ сдѣлается наименьшею, что будетъ при $Bx = C/x$, ибо произведеніе $Bx.C/x$ есть величина постоянная. Такимъ образомъ получаемъ правило Томсона: *магистральные проводы выгоднѣе всего дѣлать такого сѣченія, чтобы ежегодная потеря на ихъ нагрѣваніе равнялась процентамъ на капиталъ, затраченный на тѣ части предпріятія, которыя пропорціональны предстоящему расходу тока.*

Практическая физика въ средней школѣ

Ф. И. Ростовцева [1].

II. Геометрическія измѣренія.

4) *Измѣрить длину и ширину доски стола въ русскихъ и метрическихъ мѣрахъ.*

Приборы. Измѣрительная лента или линейка съ метрическими и русскими мѣрами, игла и небольшой деревянный брусокъ.

Опытъ. Укрѣпивъ въ вершинѣ угла столовой доски одинъ конецъ измѣрительной ленты, протягиваютъ ее вдоль края доски и отсчитываютъ номеръ черты на лентѣ, противъ которой приходится конецъ этой доски. Можетъ случиться, что край стола ни съ одной изъ черточекъ ленты не совпадетъ; тогда отсчитываютъ номеръ черты, лежащей передъ самымъ краемъ стола, и оцѣниваютъ на-глазъ (въ десятыхъ доляхъ) на какую часть дѣленія ленты отстоитъ край стола отъ этой черточки.

Если длину приходится измѣрять линейкою съ дѣленіями, то поступаютъ такъ: въ одинъ край стола упираютъ деревянный брусокъ, и къ нему прикладываютъ начало линейки, положенной на столъ параллельно измѣряемому краю. Иглою отмѣчаютъ мѣсто стола, до котораго доходитъ теперь конецъ линейки; снимаютъ послѣднюю и кладутъ ее такъ, чтобы ея начало пришлось на отмѣченномъ иглою мѣстѣ и чтобы она опять направлялась параллельно краю стола; опять иглою отмѣчаютъ положеніе конца линейки; продолжаютъ операцію, пока не исчерпаютъ всей измѣряемой длины. Пусть линейку длиною въ аршинъ и раздѣленную на вершки, пришлось укладывать три раза, и при третьемъ разѣ край стола пришелся между 13 и 14 дѣленіями линейки; если при этомъ край стола вдвое дальше отъ 14-го дѣленія, чѣмъ отъ 13-го, то можно сказать, что измѣряемая длина равна 2 арш. и 13·3 вершкамъ.

---

[1]) Продолженіе; см. стр. 43.

5) *Измѣрить длину окружности круглаго диска.*

Приборы. Круглый дискъ и измѣрительная линейка.

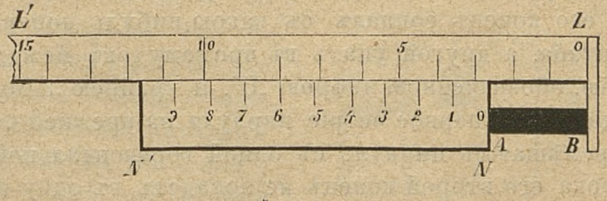
Опытъ. На дискъ по направленію одного изъ діаметровъ кладутъ линейку, раздѣленную на миллиметры, и, замѣчая дѣленія линейки противъ краевъ диска, измѣряютъ такимъ образомъ длину этого діаметра. Повторяютъ то же для другихъ діаметровъ и берутъ среднее изъ всѣхъ измѣреній.

На окружности диска дѣлаютъ мѣтку и, держа его вертикально, ставятъ такъ на измѣрительную линейку, положенную горизонтально, чтобы мѣтка на дискѣ была противъ ея нулевого дѣленія. Затѣмъ дискъ катятъ (не давая однако ему скользить) вдоль линейки, пока сдѣланная на немъ мѣтка не придетъ опять въ соприкосновеніе съ линейкою. Отсчитываютъ дѣленіе линейки, противъ котораго останавливается теперь мѣтка, и такимъ образомъ опредѣляютъ длину окружности. Вычислить длину окружности по измѣренному раньше діаметру и сравнить съ измѣренною длиною.

6) *Опредѣлить длину стержня съ точностью до 0·1 части дѣленія шкалы.*

Приборы. Измѣряемый стержень, линейка, раздѣленная, напр., на сантиметры, и ноніусъ, т. е линейка, имѣющая длину 9 cm. и раздѣленная на 10 равныхъ частей; ноніусъ можетъ скользить вдоль главной линейки.

Опытъ. Кладутъ стержень AB (фиг. 2) рядомъ съ линейкою LL' такъ, чтобы одинъ его конецъ B совпалъ съ нулемъ линейки; затѣмъ перемѣщаютъ ноніусъ NN', пока его начало (нулевое



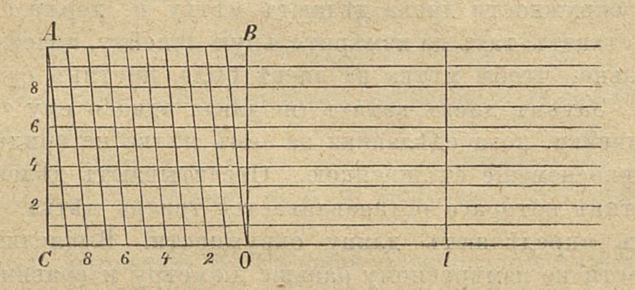
фиг. 2.

дѣленіе) не совпадетъ съ другимъ концомъ A стержня, и замѣчаютъ, между какими дѣленіями линейки LL' лежитъ конецъ A стержня, и какое дѣленіе ноніуса NN' совпадаетъ съ *какимъ-нибудь* дѣленіемъ линейки LL'. Пусть конецъ A находится между 2 и 3 дѣленіями шкалы, а шестое дѣленіе ноніуса совпадаетъ съ ка-

кимъ-нибудь (у насъ съ восьмымъ) дѣленіемъ шкалы; тогда измѣряемая длина стержня равна 2·6 дѣленія линейки.

7) *Измѣрить разстояніе между двумя точками съ точностью до 0·01 дѣленія шкалы.*

Приборы. Циркуль и трансверсальный масштабъ (фиг. 3). Послѣдній устроенъ такъ: вдоль масштаба проведены 11 равноотстоящихъ параллельныхъ между собою прямыхъ и поперекъ



фиг. 3.

масштаба система прямыхъ перпендикулярныхъ къ предыдущимъ, дѣлящихъ ихъ на равныя части. Противъ второго поперечнаго дѣленія ставятъ „0", противъ третьяго „1" и т. д. Крайнія изъ продольныхъ линій въ первомъ промежуткѣ линейки раздѣлимъ на 10 равныхъ частей и точки дѣленія соединимъ наклонными прямыми, какъ показано на чертежѣ.

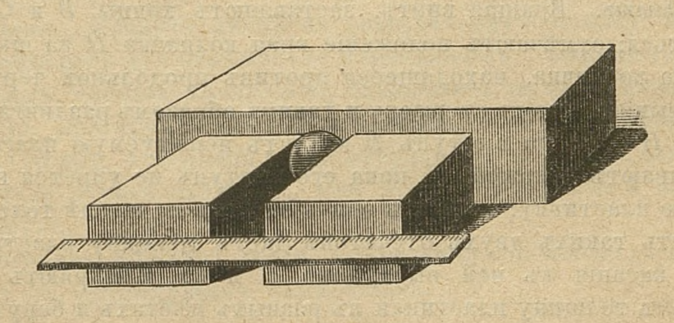
Опытъ. Растворяютъ циркуль настолько, чтобы его заостренные концы помѣщались въ данныхъ точкахъ; затѣмъ, не измѣняя раствора циркуля, переносятъ его на масштабъ такъ, чтобы одинъ его конецъ совпалъ съ какою-нибудь поперечною линіею масштаба, а другой упалъ въ промежутокъ между поперечною чертою, обозначенною цифрою „0", и крайнею лѣвою чертою. Далѣе, удерживая первое остріе циркуля на прежней поперечной чертѣ, перемѣщаютъ циркуль съ одной горизонтальной линіи на другую, пока его второй конецъ не попадетъ въ одну изъ точекъ пересѣченія продольныхъ линій съ наклонными. Пусть, напр., циркуль пришлось помѣстить на четвертой горизонтальной линіи и одинъ его конецъ стоитъ на поперечной линіи „3", а другой совпадаетъ съ точкою пересѣченія четвертой горизонтальной и седьмой наклонной; тогда, измѣряемая длина будетъ равна 3·74 единицъ шкалы.

Примѣчаніе. Отсчеты слѣдуетъ записывать въ единицахъ употребляемой шкалы; если она раздѣлена не на центиметры, то переводъ въ эти единицы дѣлать потомъ.

8. *Измѣрить діаметръ шара.*

Приборы. Три деревянныхъ бруска въ формѣ прямоугольныхъ параллелепипедовъ; раздѣленная линейка; шаръ (фиг. 4).

Опытъ. Бруски кладутъ на столъ и къ вертикальной сторонѣ одного изъ нихъ прикладываютъ два остальныхъ; между

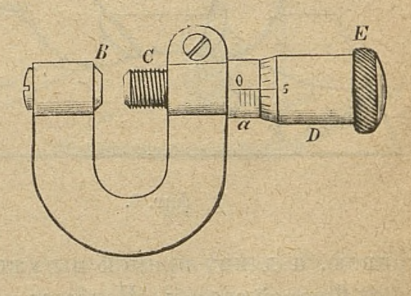


фиг. 4.

этими послѣдними помѣщаютъ шаръ, къ которому ихъ приближаютъ до прикосновенія. Затѣмъ линейкою измѣряютъ разстояніе между гранями переднихъ брусковъ; это разстояніе и будетъ искомый діаметръ.

9. ***Измѣрить толщину плоско-параллельнаго стекла толстомѣромъ съ микрометрическимъ винтомъ.***

Приборы. Плоско-параллельная пластинка. Толстомѣръ (рис. 5), состоящій изъ подковообразной металлической полосы, одна вѣтвь которой снабжена съ внутренней стороны выступомъ B; въ этотъ выступъ можетъ упираться конецъ стержня C, на которомъ нарѣзанъ винтъ (съ шагомъ въ 1 mm.), ходящій въ гайкѣ, вырѣзанной въ другой вѣтви подковы; съ внѣшней стороны къ этой вѣтви придѣлана неподвижная трубочка a, чрезъ которую проходитъ стержень и которая накрывается колпачкомъ D, неизмѣнно соединеннымъ со стержнемъ C. Когда винтъ совершитъ цѣлый



фиг. 5.

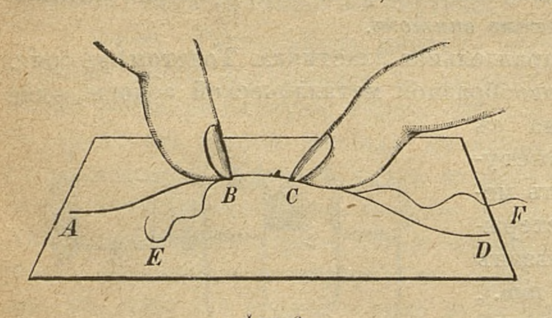
оборотъ, колпачекъ D перемѣстится вдоль трубочки a на 1 mm.; на трубочкѣ a проведена продольная черта, раздѣленная на миллиметры; эти дѣленія позволяютъ опредѣлить число цѣлыхъ оборотовъ винта C; для измѣренія же частей его оборота служитъ прилегающій къ трубкѣ a край колпачка D, раздѣленный на 100 равныхъ частей; слѣдовательно поворотъ колпачка на одно такое дѣленіе будетъ сопровождаться перемѣщеніемъ винта на 1/100 mm., и т. д.

Опытъ. Вращая винтъ, заставляютъ концы B и C соприкоснуться; отмѣчаютъ положеніе края колпачка D на шкалѣ a и дѣленіе колпачка, находящееся противъ продольной черты. Затѣмъ вывинчиваютъ стержень и такимъ образомъ раздвигаютъ выступы B и C; на выступъ B кладутъ испытуемую пластинку и ввинчиваютъ стержень C, пока его выступъ не упрется въ испытуемую пластинку; дѣлаютъ опять отсчетъ на шкалѣ толстомѣра. Разность такихъ двухъ отсчетовъ дастъ толщину пластинки въ мѣстѣ касанія къ ней выступовъ B и C. Измѣряютъ такимъ образомъ толщину пластинки въ разныхъ мѣстахъ и берутъ ариѳметическое среднее.

10) *Измѣрить длину кривой линіи.*

Первый способъ. Приборы. Циркуль, карандашъ, листъ бумаги, масштабъ.

Опытъ. Данную линію раздѣляютъ на возможно большое число столь малыхъ частей, чтобы каждую изъ нихъ можно было принимать за отрѣзокъ прямой. На листѣ бумаги проведемъ прямую и будемъ на ней послѣдовательно откладывать длины отрѣзковъ, на которые раздѣлена кривая; такимъ образомъ мы найдемъ прямую одинаковой длины съ данною кривою, а длину прямой мы уже умѣемъ измѣрять (см. задачу 8).



фиг. 6.

Второй способъ. Приборы. Тонкая нить и масштабъ.

Опытъ. Одинъ конецъ нити EF (фиг. 6) заставляютъ совпасть съ концомъ A данной кривой, и затѣмъ приводятъ послѣдовательныя небольшія части нити въ совпаденіе съ такими же

частями кривой (какъ это показано, напр., для BC на рисункѣ 6), пока не дойдемъ до другого конца D кривой. Длина нити отъ перваго ея конца до точки, совпадающей съ D, и будетъ равна длинѣ данной кривой. Остается только при помощи масштаба измѣрить длину этой части нити.

11) *Измѣрить площадь круглаго диска.*

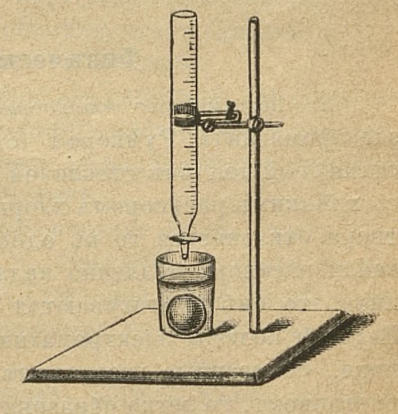
Приборы. Круглый дискъ, листъ бумаги, разграфленной на возможно мелкіе квадраты (координатная бумага), карандашъ.

Опытъ. Кладутъ дискъ на разграфленную бумагу и тщательно обводятъ его окружность карандашомъ. Снимаютъ дискъ и считаютъ, сколько квадратовъ заключаетъ въ себѣ нарисованный кругъ, при чемъ половины и бо́льшія части квадратовъ считаютъ за цѣлые, а меньшія части отбрасываютъ. Зная, чему равна площадь одного квадрата, уже легко опредѣлить и площадь всего круга.

Измѣривъ діаметръ диска, вычисляютъ его площадь и сравниваютъ съ предыдущимъ измѣреніемъ.

12) *Опредѣлить объемъ шара.*

Приборы. Бюретка, раздѣленная на части равныхъ емкостей; штативъ; стаканъ съ мѣтками на боковой поверхности; шаръ. (фиг. 7).



фиг. 7.

Опытъ. Бюретку наполняютъ водою и, открывъ кранъ, доводятъ уровень ея до нулеваго дѣленія бюретки. Подъ отверстіе бюретки подставляютъ стаканъ съ находящимся въ немъ шаромъ. Опять открываютъ кранъ и изъ бюретки выпускаютъ воду въ стаканъ, пока она не покроетъ всего шара и ея уровень не поднимется до опредѣленной мѣтки. Измѣряютъ на бюреткѣ объемъ вылившейся воды. Затѣмъ бюретку снова наполняютъ водою; шаръ и воду удаляютъ изъ стакана, и послѣдній до суха вытираютъ; пустой стаканъ опять подставляютъ подъ бюретку, изъ которой выпускаютъ воду въ стаканъ, пока уровень ея здѣсь не станетъ противъ прежней мѣтки; опять замѣчаютъ объемъ во-

ды, вылившейся изъ бюретки. Разность этихъ двухъ объемовъ воды дастъ искомый объемъ шара.

Измѣривъ діаметръ шара, вычислить его объемъ и сравнить съ предыдущимъ измѣреніемъ его.

Примѣчаніе. Когда послѣ истеченія воды изъ бюретки закрываютъ кранъ, на ея концѣ остается капля воды; эту каплю не слѣдуетъ удалять: тогда ниже крана всегда будетъ оставаться одно и то же количество воды.

13) *Измѣрить уголъ, заключенный между двумя пересѣкающимися прямыми.*

Приборы. Транспортиръ; листъ бумаги съ начерченнымъ угломъ.

Опытъ. Накладываютъ транспортиръ такъ, чтобы его центръ совпалъ съ вершиною даннаго угла, а діаметръ направлялся по одной изъ его сторонъ. Отсчитываютъ затѣмъ дѣленіе транспортира (десятыя на-глазъ), чрезъ которое проходитъ другая сторона угла. Это дѣленіе и даетъ величину измѣряемаго угла.

(Продолженіе слѣдуетъ).

Физическій кабинетъ.

2. *Магнитизмъ жидкостей.* Между сближенными полюсами электромагнита Румкорфа (съ токомъ въ 20 amp.) помѣщаютъ оттянутый кончикъ стеклянной трубки (которую держатъ въ рукѣ) съ крѣпкимъ растворомъ хлорнаго желѣза; висящая капелька раствора отклоняется то къ одному, то къ другому полюсу. Если капли раствора медленно падаютъ между полюсами электромагнита, то онѣ притягиваются полюсами и пристаютъ къ нимъ. Если на полюсы электромагнита надѣть закругленныя наконечники, обмазанные вазелиномъ, и вблизи нихъ медленно капать растворомъ, то легко образовать между полюсами жидкій мостикъ (длина и толщина коего 6—7 mm.); при размыканіи цѣпи эта жидкость тотчасъ же отрывается отъ электромагнита и падаетъ.

(Варшава, *А. А. Трусевичъ.*)

3. *Зеркала Пикте.* Вмѣсто обычной подставки (на высокой ножкѣ) взять прямоугольную деревянную раму (ящикъ безъ крышки и дна); въ боковыя стѣнки этой рамы укрѣплены концы гори-

зонтальной оси (параллельной краямъ рамы), вокругъ которой удобоподвижно зеркало. Съ такими подставками установка зеркалъ значительно облегчается, при чемъ руководствуются краями рамъ и стола, на которомъ располагаютъ зеркало. Очень удобно, если фокусы зеркалъ лежатъ въ плоскостяхъ ихъ краевъ; тогда легко найти мѣста, гдѣ надо помѣстить источникъ лучей и нагрѣваемое тѣло. Источникомъ лучей служитъ проволочная корзина съ горящими углями; легко воспламеняющимся тѣломъ — кусокъ фотоксилина, окрашеннаго въ черный цвѣтъ погруженіемъ въ спиртовой растворъ черной анилиновой краски (нигрозина); фотоксилинъ помѣстить приблизительно въ фокусѣ и растрепать его въ большой комъ. (Варшава, *А. А. Трусевичъ.*)

4. *Беккерелевскіе лучи.* Радіоактивныя вещества, приготовленныя по способу Кюри, можно получать изъ Парижа отъ Société centrale de produits chimiques (44 & 42, rue des Ecoles) цѣною отъ 3 до 10 фр. за одинъ граммъ; тамъ же продается „дискъ съ радіемъ" (30 фр.); это стеклянный дискъ съ углубленіемъ, наполненнымъ хлористымъ радіемъ и заклееннымъ тонкою алюминіевою пластинкою. Съ такимъ дискомъ можно показать слѣдующія свойства беккерелевскихъ лучей:

a) *Свѣченіе лучей*; въ темнотѣ, неутомленными свѣтомъ глазами смотрятъ на радіоактивное вещество чрезъ стеклянную сторону диска; кружокъ представляется свѣтящимся.

b) *Флюоресценція*; дискъ алюминіевою стороною прикладывается сзади къ экрану, покрытому ціанисто-платиновымъ баріемъ; на чувствительной сторонѣ послѣдняго вырисовывается свѣтлый кружокъ, отчетливо видимый въ темнотѣ.

c) *Разряжающія дѣйствія беккерелевскихъ лучей*, опытъ Кюри (см. „Физическое Обозрѣніе" т. 1, стр. 161); разряды можно производить при помощи индуктора Румкорфа или большой электрической машины; къ искровому перерыву подносить дискъ его алюминіевою стороною. (Варш. унив.)

5. *Передача давленія въ жидкости.* Нужно имѣть простой стеклянный насосъ (спринцовку) съ глухимъ поршнемъ (такой насосъ стóитъ 1—2 руб. и необходимъ въ кабинетѣ, хотя бы для демонстрацій поднятія воды въ насосѣ). Затѣмъ берется ушная спринцовка (каучуковый мячикъ съ оттянутымъ концомъ); этотъ конецъ надо срѣзать настолько, чтобы діаметръ отверстія былъ значительно меньше діаметра насоса. Въ шарикѣ дѣлаютъ отверстія (лучше на одномъ меридіанѣ) раскаленною на лампочкѣ иглою;

иглу при этомъ не надо сейчасъ же вынимать, иначе отверстіе слипнется, а нѣкоторое время въ немъ поводить. Такой шарикъ надѣваютъ на конецъ насоса, и приборъ готовъ. Наполнять его лучше, погружая въ длинный цилиндръ съ водою, и, когда вода дойдетъ до верху, вставить поршень въ верхній конецъ; вынуть въ такомъ видѣ приборъ и опускать поршень; изъ отверстій вода вытекаетъ струями. (Москва, *А. П. Косминковъ.*)

6. *Давленіе жидкости на стѣнки сосуда и зависимость ея отъ глубины.* Въ обыкновенной аптекарской стклянкѣ вмѣстимостью около 2 литровъ просверливаютъ [1]) три отверстія на одной образующей боковой поверхности; на верхней полусферической стѣнкѣ хорошо тоже сдѣлать отверстіе; отверстія (діаметромъ 1/2—1 mm.) затыкаются деревянными затычками, выструганными хотя бы изъ спичекъ, послѣ чего сосудъ наполняется водою. Открывая любое отверстіе, по первоначальному направленію струи дѣлаемъ выводъ о перпендикулярности давленія на стѣнку; различная степень пологости параболическихъ струй при разныхъ отверстіяхъ даетъ понятіе о различіи давленія въ зависимости отъ глубины. (Москва, *А. П. Косминковъ.*)

7. *При одинаковомъ количествѣ жидкости давленіе различно въ зависимости отъ высоты.* Въ горло той же стклянки при помощи пробки вставляется трубка длиною 50—75 cm.; трубку лучше брать пошире, чтобы она только-только входила въ горло, тогда вмѣсто пробки можно конецъ ея обернуть полоскою каучука. Наполнивъ весь приборъ водою и открывъ какое-либо изъ отверстій, видимъ, что давленіе отъ прибавки очень небольшого количества жидкости увеличилось въ очень значительной степени. Если трубку замѣнить воронкою, въ которую нальемъ то же количество воды, что и въ трубкѣ, то форма струи совсѣмъ иная (давленіе во второмъ случаѣ слабѣе, нежели при трубкѣ). (Москва, *А. П. Косминковъ.*)

---

[1]) Сверлить стекло можно очень легко *гробштихелемъ*, который вообще полезно имѣть въ кабинетѣ, т. к. онъ годится и для сверленія металла. Инструментъ этотъ представляетъ изъ себя четырехгранный стальной стержень толщиною 2—3 cm., срѣзанный наклонно къ ребрамъ (сѣченіе—ромбъ). Поставивъ его на стекло, слегка нажимаютъ, поворачивая, чтобы намѣтить точку; затѣмъ сверлятъ, время до времени смачивая конецъ скипидаромъ; сверленіе подвигается довольно медленно; въ результатѣ получается коническое углубленіе, съ отверстіемъ на днѣ; этому отверстію можно придать, конечно, большіе или меньшіе размѣры.